



TESIS - RC 142501

**KAJIAN TINGGI AIR DI HULU BENDUNG DAN PENENTUAN
KOEFSIEN DEBIT PADA PELIMPAH AMBANG DENGAN
BENTUK ALINYEMEN PUNCAK *LINEAR* DAN MULTI
HALFCIRCULAR DENGAN MODEL FISIK**

**HENDRA PUTRA SUDRADJAT
NRP. 3116 205 005**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc
Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - RC 142501

**KAJIAN TINGGI AIR DI HULU BENDUNG DAN PENENTUAN
KOEFSISIEN DEBIT PADA PELIMPAH AMBANG DENGAN BENTUK
ALINYEMEN PUNCAK *LINEAR* DAN MULTI *HALFCIRCULAR*
DENGAN MODEL FISIK**

**HENDRA PUTRA SUDRADJAT
NRP. 3116205005**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc
Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - RC 142501

**STUDY OF HIGH WATER LEVEL ON WEIR UPSTREAM AND
DETERMINE OF DISCHARGE COEFFICIENT WITH GEOMETRY OF
WEIR ARE LINEAR AND MULTI HALFCIRCULAR BY HYDRAULIC
MODELLING**

**HENDRA PUTRA SUDRADJAT
NRP. 3116205005**

**SUPERVISOR
Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc
Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA**

**MAGISTER PROGRAM
WATER RESOURCES ENGINEERING AND MANAGEMENT
DEPARTEMEN OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

**Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh
Hendra Putra Sudradjat
NRP. 3116205005**

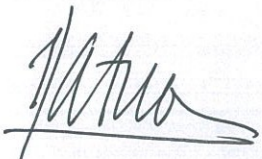
**Tanggal Ujian : 04 Januari 2018
Periode Wisuda : Maret 2018**

Disetujui oleh :

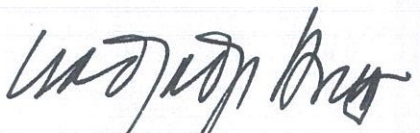
**1. Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc
NIP. 19721202 199802 1 001**


(Pembimbing)


**2. Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA
NIP. 19520311 198003 1 003**


(Pembimbing)

**3. Prof. Dr.Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc
NIP. 19540113 198010 1 001**



(Penguji)

**4. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.
NIP. 19610927 198701 1 001**


(Penguji)

Dekan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan,




**IDAA Warmadewanthi ST., MT., PhD.
NIP. 19750212 199903 2001**

KAJIAN TINGGI AIR DI HULU BENDUNG DAN PENENTUAN KOEFISIEN DEBIT PADA PELIMPAH AMBANG DENGAN BENTUK ALINYEMEN PUNCAK *LINEAR* DAN *MULTI HALFCIRCULAR* DENGAN MODEL FISIK

Nama Mahasiswa : Hendra Putra Sudradjat

NRP : 3116205005

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Edijatno

Abstrak

Pelimpah ambang berfungsi melimpahkan debit air yang berlebihan dan menanggulangi bahaya *overtopping* terhadap jenis-jenis bangunan air. Debit air yang mengalir pada pelimpah ditinjau dari karakteristik hidraulik tidak hanya ditentukan oleh lebar ambang saja, tetapi ditentukan pula oleh parameter-parameter aliran lainnya, yaitu geometri pelimpah ambang yang terdiri dari lebar pelimpah ambang, tebal ambang, dan tinggi pelimpah ambang. Dari dasar itu kemudian penulis melakukan penelitian aliran melalui pelimpah ambang dengan bentuk geometri linear dan multi *halfcircular*. Ambang multi *halfcircular* akan memiliki kemampuan mengalirkan debit yang lebih besar dibandingkan ambang linear. Hal ini karena panjang ambang multi *halfcircular* lebih besar nilainya dibandingkan ambang linear. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran aliran pada model seri pelimpah ambang linear dan ambang multi *halfcircular* yang ditempatkan dalam *flume* di laboratorium. Tinggi muka air di udik pelimpah diukur dengan menggunakan sensor (*Ultrasonic Water Level Recorder*). Debit aliran dihitung dari data hasil pengukuran yang berdasarkan rumus hidrolika *rehbock*, sedangkan analisa data menggunakan metode statistik deskriptif untuk mendapatkan nilai rata-rata dan erornya.

Dari hasil penelitian ini, peneliti menyajikan grafik hubungan antara muka air di udik pelimpah dan debit, grafik muka air dan debit yang melewati pelimpah,

serta grafik hubungan antara koefisien debit dan H/P (muka air dan tinggi pelimpah).

Kata Kunci : Ambang, *Debit, Tinggi Air, Koefisien Debit*

**STUDY OF HIGH WATER LEVEL ON WEIR UPSTREAM
AND DETERMINE OF DISCHARGE COEFFICIENT WITH
GEOMETRY OF WEIR ARE *LINEAR AND MULTI
HALFCIRCULAR* BY HYDRAULIC MODELLING**

Name of Student : Hendra Putra Sudradjat
Registration Number : 3116205005
Supervisor : Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST, M.Sc
Co-Supervisor : Dr.Ir. Edijatno

The weir serve to overflow excessive water discharge and overcome the dangers of overtopping of hydraulics structure types. The flow of water flowing in the overflow in terms of the hydraulic characteristics is determined not only by the weir, but also by other flow parameters, ie the weir geometry of the width, the thickness, and the height of the weir overlay. From that basis then the author conducted a research flow through an overflow weir with a linear and multi half-circular geometry. Multi-circular weir will have the ability to drain greater discharge than linear weirs. This is because the multi halfcircular had length is greater than the linear weir. The experiment was conducted by measuring the flow on the linear weir abutment model and the multiple half-circular weir placed in the flume in the laboratory. The water level in the hill is measured using a sensor (Ultrasonic Water Level Recorder). The flow discharge is calculated from the measurement data based on the rehbock hydraulic formula, while the data analysis uses descriptive statistical method to get the average value and error.

From the results of this study, the researcher presents the graph of the relationship between the water level in the overflow hill and discharge, the water level graph and the discharge through the spillway, and the graph of the relationship between the discha coefficient and H / P (water level and high abundance).

Keywords: *weir, Discharge, Water Level, Discharge Coefficient*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas limpahan nikmat Islam, iman, ilmu dan kesehatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “ Kajian Tinggi Air Di Hulu Bendung Dan Penentuan Koefisien Debit Pada Pelimpah Ambang Dengan Bentuk Alinyemen Puncak Linear Dan Multi *Halfcircular* Dengan Model Fisik”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Pascasarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini tidak dapat tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu penulis memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan dedikasi yang tinggi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Ir. Edijatno, CES., DEA selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat dan selalu memberikan motivasi bagi penulis untuk selalu bekerja keras mencapai apa yang diinginkan.
3. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan bimbingan konsultasi yang sangat bermanfaat bagi penulis
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc sebagai dosen penguji dalam ujian tesis yang telah memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat bagi penulis. Dan juga sebagai dosen wali yang selalu memberikan arahan selama proses perkuliahan.
5. Kepada Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Ketua Jurusan Teknik Sipil serta karyawan laboratorium hidraulik dan Teknik pantai, Pascasarjana Teknik Sipil yang telah membantu penulis dalam segala

urusan administrasi dan penelitian laboratorium selama menempuh kuliah di ITS.

6. Istri dan Anakku yang selalu memberikan dukungan dan doa selama penulis kuliah dan menyelesaikan penelitian ini.
7. Orang tua tercinta, bapak dan ibu mertua, adik dan semua keponaanku, terimakasih atas doa dan dukungan yang luar biasa yang selalu mengiringi penulis setiap detiknya dalam mengarungi kehidupan.
8. Teman-teman MRSA angkatan 2016 : mba jasmine, mba desyta, dan mba nurul. Kalian semua baik, sukses buat kita semua.
9. Seluruh pihak yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan dimasa datang. Penulis berharap agar tesis ini dapat berguna bagi agama dan negara. Amin.

Surabaya, Januari 2018

Hendra Putra Sudradjat
NRP. 3116205005

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Aliran di Saluran Terbuka	5
2.2. Pengukuran Laju Aliran	6
2.3. Hukum <i>Bernoulli</i>	7
2.4. Pelimpah.....	9
2.5. Pengukuran Tinggi Air.....	13
2.6. Perbandingan Penelitian Sebelumnya (<i>State of the art</i>).....	13
2.7. <i>Streamline, Streakline, Pathline</i>	17
2.8. Analisis Regresi.....	20
2.9. Kesalahan Relatif	20
BAB III METODOLOGI	23
3.1. Bagan Alir Metodologi Penelitian.....	23
3.2. Rancangan Penelitian	26
3.3. Tahapan Penelitian	27

3.3.1	Perumusan Hidraulika Aliran pada Bangunan Pelimpah Ambang ..	27
3.3.2	<i>Running Model</i>	27
3.3.3	Pengamatan dan Pengukuran Model Fisik Hidraulik.....	28
3.3.4	Kalibrasi Alat Ukur Debit	28
3.3.5	Analisa Data	29
3.3.6	Kesimpulan.....	29
3.4.	Skema Penelitian.....	29
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1.	Komponen Model Penelitian.....	31
4.2.	Pemilihan Alat Ukur	32
4.2.1	Alat Ukur Debit.....	33
4.2.2	Alat Ukur Muka Air	41
4.3	Pembuatan Model.....	43
4.4	Skenario Uji Model Pelimpah Ambang	44
4.5	Perhitungan Koefisien Debit pada Model Penelitian	46
4.6	Data Pengamatan Fisik Hidraulik Tinggi Air (m) dan Hasil Hitungan Debit Melalui Pelimpah (m ³ /s).....	47
4.6.1	Model Pelimpah Ambang Linear	47
4.6.2	Model Pelimpah Ambang Multi Halfcircular	71
4.7.	Perbandingan Hasil Uji Model Fisik Hidraulik Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i>	95
4.7.1	Perbandingan Tinggi Air di Udik Model Penelitian	96
4.7.2	Perbandingan Hasil Uji Model Fisik Koefisien Debit Dan H/P (Tinggi Air Dan Tinggi Pelimpah).....	109
4.8.	Rangkuman Penelitian	119
4.9.	Kendala – Kendala Selama Penelitian	125
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	127
5.1.	Kesimpulan	127
5.2.	Saran.....	128
DAFTAR PUSTAKA		129
LAMPIRAN.....		131

LAMPIRAN A (Contoh Perhitungan Koefisien Debit Ambang Linear dan Ambang Multi Halfcircular)	131
LAMPIRAN B (Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi Halfcircular)	133
LEMBAR ASISTENSI	
BIOGRAFI PENULIS	

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipe-tipe pelimpah ambang tajam beserta bentuk persamaan	11
Tabel 4.1.	Koefisien Debit Alat Ukur Ambang Tipis	33
Tabel 4.2.	Kalibrasi Alat Ukur Ambang Tipis Terhadap Alat Ukur Thomson	36
Tabel 4.3.	Koefisien Debit Koreksi Alat Ukur Ambang Tipis.....	38
Tabel 4.4.	Koefisien Debit Koreksi Alat Ukur Ambang Tipis.....	40
Tabel 4.5.	Skenario untuk Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i>	42
Tabel 4.6.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 40$ cm	47
Tabel 4.7.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 35$ cm	51
Tabel 4.8.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 30$ cm	55
Tabel 4.9.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 25$ cm	59
Tabel 4.10.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di atas model penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 20$ cm	63
Tabel 4.11.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di atas model penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 15$ cm	67
Tabel 4.12.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 40$ cm	71
Tabel 4.13.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 35$ cm	75
Tabel 4.14.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 30$ cm	79
Tabel 4.15.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 25$ cm	83
Tabel 4.16.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 20$ cm	87
Tabel 4.17.	Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 15$ cm	91
Tabel 4.18.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 40$ cm.....	95
Tabel 4.19.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 35$ cm.....	97
Tabel 4.20.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 30$ cm.....	100
Tabel 4.21.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 25$ cm.....	102
Tabel 4.22.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 20$ cm.....	104

Tabel 4.23.	Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 15$ cm.....	107
-------------	--	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk. 2013).	6
Gambar 2.2.	Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk. 2013).	9
Gambar 2.3.	Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk.2013).	10
Gambar 2.4.	Layout dan Potongan Melintang Pelimpah Gergaji (kriteria perencanaan.2013).....	14
Gambar 2.5.	Layout dan Potongan Melintang Arced Labyrinth Weirs (Crookston, 2012).....	15
Gambar 2.6.	Kombinasi Pelimpah Gigi Gergaji dan Pelimpah Tapal Kuda....	15
Gambar 2.7.	(A) Pelimpah gigi gergaji, (B) Pelimpah Piano Key (Anderson M Ricky, 2011)	16
Gambar 2.8.	Penelitian 2012, (B) Penelitian 2011, (C) Penelitian Sekarang (2017)	17
Gambar 2.9.	Ilustrasi Garis Arus (<i>Streamline</i>) (Munson dkk. 2013).	18
Gambar 2.10.	Ilustrasi Garis Gurat (<i>Streakline</i>) (Munson dkk. 2013).	19
Gambar 2.11.	Ilustrasi Garis Jejak (<i>Pathline</i>) (Munson dkk. 2013).	19
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> Urutan Pelaksanaan Penelitian.....	22
Gambar 3.2.	<i>Flowchart</i> Skenario Penelitian	23
Gambar 3.3.	Saluran Flume di Laboratorium (Dokumentasi Peneliti)	24
Gambar 3.4.	(A) Sensor Pembaca Muka Air, (B) Pengolah dan Perekaman Data (Dokumentasi Peneliti)	24
Gambar 3.5.	(A) Ambang Tipis, (B) <i>Point Gauge</i> untuk Pembacaan tinggi air (Dokumentasi Peneliti).....	25
Gambar 4.1.	Saluran Flume di Laboratorium (Dokumentasi Peneliti)	30
Gambar 4.2.	a. Pompa Kapasitas 7 Ltr/dt, b. Pompa Kapasitas 30 Ltr/dt (Dokumentasi Peneliti).....	30
Gambar 4.3.	Alat Ukur Ambang Tipis Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti) 31	
Gambar 4.4.	Penentuan Nilai C_d untuk Alat Ukur Debit Ambang Tipis di Laboratorium (<i>Kindvaster</i> dan <i>Carter</i> , 1957)	32
Gambar 4.5.	Aliran Air Melewati Alat Ukur <i>Thomson</i> , a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	34
Gambar 4.6.	Kalibrasi Alat Ukur Debit (Dokumentasi Peneliti)	35
Gambar 4.7.	Grafik Kalibrasi Alat Ukur Ambang Tipis terhadap Alat Ukur Debit <i>Thomson</i>	37
Gambar 4.8.	Grafik Debit dan Tinggi Air Alat Ukur Ambang Tipis Setelah dikalikan Faktor Koreksi Debit	39
Gambar 4.9.	Grafik H Manual dan H Sensor Alat Ukur <i>Thomson</i>	40
Gambar 4.10.	Grafik H Manual dan H Sensor Alat Ukur Ambang Tipis	41
Gambar 4.11.	Rencana Desain Pelimpah (a) Ambang Linear $B = 45,5$ Cm, (a) Ambang Multi <i>Halfcircular</i> Diameter 11,4 Cm Berjumlah 4 Buah (Desain Peneliti)	42

Gambar 4.12.	Tampak Samping Model Penelitian Ambang Linear, (Desain Peneliti).....	43
Gambar 4.13.	Tampak Samping Model Penelitian Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , (Dokumentasi Peneliti).....	43
Gambar 4.14.	Tampak Atas Model Penelitian Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , (Dokumentasi Peneliti).....	44
Gambar 4.15.	Debit Maksimum a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	46
Gambar 4.16.	Debit Minimum a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	46
Gambar 4.17.	Grafik Lengkung Debit, $P = 40$ cm	48
Gambar 4.18.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 40$ cm	49
Gambar 4.19.	Debit Maksimum $P = 35$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	50
Gambar 4.20.	Debit Minimum $P = 35$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	50
Gambar 4.21.	Grafik Lengkung Debit, $P = 35$ cm	52
Gambar 4.22.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 35$ cm	53
Gambar 4.23.	Debit Maksimum $P = 30$ cm .a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	54
Gambar 4.24.	Debit Minimum $P = 30$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	54
Gambar 4.25.	Grafik Lengkung Debit, $P = 30$ cm	56
Gambar 4.26.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 30$ cm	57
Gambar 4.27.	Debit Maksimum $P = 25$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	58
Gambar 4.28.	Debit Minimum $P = 25$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	58
Gambar 4.29.	Grafik Lengkung Debit, $P = 25$ cm	60
Gambar 4.30.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 25$ cm	61
Gambar 4.31.	Debit Maksimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	62
Gambar 4.32.	Debit Minimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	62
Gambar 4.33.	Grafik Lengkung Debit, $P = 20$ cm	64
Gambar 4.34.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 20$ cm	65
Gambar 4.35.	Debit Maksimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	66
Gambar 4.36.	Debit Minimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	66
Gambar 4.37.	Grafik Lengkung Debit, $P = 15$ cm	68
Gambar 4.38.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 15$ cm	69
Gambar 4.39.	Debit Maksimum $P = 10$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	70

Gambar 4.40.	Debit Minimum $P = 40$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	70
Gambar 4.41.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 40$ cm	72
Gambar 4.42.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 40$ cm	73
Gambar 4.43.	Debit Maksimum $P = 35$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	74
Gambar 4.44.	Debit Minimum $P = 35$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	74
Gambar 4.45.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 35$ cm	76
Gambar 4.46.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 35$ cm.....	77
Gambar 4.47.	Debit Maksimum $P = 30$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	78
Gambar 4.48.	Debit Minimum $P = 30$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	78
Gambar 4.49.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 30$ cm	80
Gambar 4.50.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 30$ cm	81
Gambar 4.51.	Debit Maksimum $P = 25$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	82
Gambar 4.52.	Debit Minimum $P = 25$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	82
Gambar 4.53.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 25$ cm	84
Gambar 4.54.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 25$ cm	85
Gambar 4.55.	Debit Maksimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	86
Gambar 4.56.	Debit Minimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	86
Gambar 4.57.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 20$ cm	88
Gambar 4.58.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 20$ cm	89
Gambar 4.59.	Debit Maksimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti).....	90
Gambar 4.60.	Debit Minimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti).....	90
Gambar 4.61.	Grafik Lengkung Debit Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 15$ cm	92
Gambar 4.62.	Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 15$ cm	93
Gambar 4.63.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 40$ cm.....	94
Gambar 4.64.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 35$ cm.....	96
Gambar 4.65.	Kontraksi pada Puncak Ambang	98
Gambar 4.66.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 30$ cm.....	99
Gambar 4.67.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 25$ cm.....	101

Gambar 4.68.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 20$ cm.....	103
Gambar 4.69.	Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi <i>Halfcircular</i> , $P = 15$ cm.....	105
Gambar 4.70.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 40$ Cm	108
Gambar 4.71.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 40$ Cm	109
Gambar 4.72.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 35$ Cm	110
Gambar 4.73.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 35$ Cm	110
Gambar 4.74.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 30$ Cm.....	111
Gambar 4.75.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 30$ Cm	112
Gambar 4.76.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 25$ cm.....	113
Gambar 4.77.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 25$ Cm	113
Gambar 4.78.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 20$ Cm	114
Gambar 4.79.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 20$ Cm	115
Gambar 4.80.	Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, $P = 15$ Cm	116
Gambar 4.81.	Grafik Debit (Q) Dan H/P, $P = 15$ Cm	116
Gambar 4.82.	Tinggi Air di Udik Model pada Tiap Tinggi Pelimpah.....	118
Gambar 4.83.	Kontraksi di Sepanjang Lebar Puncak Ambang	118
Gambar 4.84.	Kontraksi di Sepanjang Lebar Puncak Ambang	119
Gambar 4.85.	Tinggi Air di Udik Model pada Tiap Tinggi Pelimpah.....	119
Gambar 4.86.	Selisih Tinggi Air di Udik	120
Gambar 4.87.	Arah Aliran Pada Puncak Ambang, A. Debit Kecil ($0,001 \text{ m}^3/\text{dt}$), B. Debit Menengah ($0,0175 \text{ m}^3/\text{dt}$)	120
Gambar 4.88.	Hubungan H/P terhadap Debit dan Koefisien Debit pada Tiap- Tiap Tinggi Pelimpah	122
Gambar 4.89.	Fluktuasi Permukaan Air dengan Pompa 30 Liter/dt	123
Gambar 4.90.	Fluktuasi Permukaan Air dengan Pompa 7 Liter/dt	123
Gambar 4.91.	Kondisi Perubahan Limpasan Air Melewati Pelimpah	124

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelimpah merupakan kelengkapan utama yang harus ada pada beberapa jenis bangunan air, seperti bendungan, bangunan utama bendung, *checkdam*, dan saluran irigasi. Pelimpah berfungsi melimpahkan debit air yang berlebihan dan menanggulangi bahaya *overtopping* terhadap jenis-jenis bangunan air.

Debit dan tinggi air yang mengalir pada pelimpah ditinjau dari karakteristik hidraulik tidak hanya ditentukan oleh lebar ambang saja, tetapi ditentukan pula oleh parameter-parameter aliran lainnya, yaitu geometri pelimpah ambang yang terdiri dari lebar pelimpah ambang, tebal ambang, dan tinggi pelimpah ambang atau perbandingan antara tinggi pelimpah ambang dan tinggi energi diatas pelimpah ambang, serta koefisien debit (C_d). Persamaan yang digunakan untuk menghitung debit aliran melalui pelimpah tanpa kontraksi (Rehbock, 1992) yaitu:

$$Q_t = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

Dimana, Q_t = Debit aliran (m^3/dt)

B = Lebar ambang (m)

H = Tinggi energi aliran diatas ambang (m)

C_d = Koefisien debit

Saat ini angka-angka koefisien debit yang digunakan adalah koefisien untuk satu bentuk pelimpah ambang yang tegak lurus aliran, oleh karenanya perlu diteliti jenis pelimpah ambang yang berbeda bentuk untuk mengetahui nilai koefisien debit.

Bangunan hidraulik seperti pelimpah telah banyak dibangun dan diteliti dengan model fisik untuk memastikan kondisi yang terjadi sesuai dengan perencanaan dan dapat dioperasikan dengan baik. Alasan dari penelitian dengan menggunakan jenis pelimpah yang berbeda adalah adanya faktor ketidakpastian koefisien debit yang digunakan. Banyak percobaan

laboratorium yang telah dilakukan oleh para peneliti, baik secara individual maupun kelompok, namun setiap bentuk pelimpah mempunyai nilai syarat batas penggunaan yang berbeda (Peterka, 1978).

Dalam perencanaan pekerjaan bangunan air, banyak persoalan atau permasalahan yang tidak dapat dipecahkan dengan rumus-rumus yang ada. Hal ini mengingat beberapa rumus yang ada diturunkan dari suatu kondisi tertentu yang belum tentu keadaanya sama dengan kondisi bangunan air yang akan direncanakan.

Dengan dasar pemikiran untuk mengalirkan debit aliran yang besar dan tinggi energi aliran di hulu pelimpah yang kecil maka dilakukan penelitian dengan bentuk pelimpah ambang yang berbeda. Bentuk pelimpah ambang yang diteliti adalah ambang multi *halfcircular* yang berjumlah 4 buah (diameter @ 11,4 cm) dan ambang *linear* (lebar 45,5 cm). Bentuk geometri ambang multi *halfcircular* diyakini dapat memberikan hasil yang baik yaitu dapat mengalirkan debit aliran yang besar dan mengurangi tinggi air di hulu pelimpah.

Pengamatan penelitian terdiri dari pengamatan tinggi air di hulu pelimpah ambang, dengan hasil hitungan berupa koefisien debit dan debit aliran. Dengan bantuan model hidraulik, dalam menyelesaikan permasalahan penelitian adalah sangat bermanfaat. Tugas atau peranan model hidraulik dalam mendukung kegiatan penelitian diantaranya adalah:

- a. Untuk mengetahui kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi setelah bangunan dibuat.
- b. Untuk mendapatkan suatu tingkat keyakinan yang tinggi atas keberhasilan suatu perencanaan bangunan.
- c. Untuk mengetahui penampilan bangunan serta pengaruhnya terhadap lingkungan.

Disamping peran tersebut, model hidraulik sangat penting fungsinya dalam pengembangan ilmu hidraulika beserta aplikasi. Penelitian dilakukan dengan model fisik, sehingga pengetahuan tentang cara perencanaan model hidraulik sangat diperlukan dalam rangka pengembangan riset hidrolika.

Berbagai permasalahan yang belum dapat diformulasikan fenomenanya, dapat dipecahkan lewat penelitian laboratorium.

1.2. Perumusan Masalah

Model pelimpah ambang ini akan dibuat dari bahan dua bahan yakni akrilik dan pipa PVC, bentuk saluran berupa *flume* lebar 45,5 cm dan tinggi 49 cm. Beberapa masalah yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hubungan antara tinggi air di hulu pelimpah (H) dan tinggi pelimpah (P) pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*) dengan variasi debit (Q) yang dialirkan dari pompa?
2. Bagaimana hubungan antara tinggi air di hulu pelimpah (H) dan besarnya debit (Q) yang mengalir pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*)?
3. Bagaimanakah hubungan antara koefisien debit (C_d) dan tinggi air pelimpah, tinggi pelimpah (H/P) pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*)?

1.3. Tujuan

1. Mendapatkan hubungan antara tinggi air di hulu pelimpah (H) dan tinggi pelimpah (P) pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*) dengan variasi debit (Q) yang dialirkan dari pompa.
2. Mendapatkan hubungan antara tinggi air di hulu pelimpah (H) dan besarnya debit (Q) yang mengalir pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*).
3. Mendapatkan hubungan antara koefisien debit (C_d) dan tinggi air pelimpah, tinggi pelimpah (H/P) pada kedua pelimpah ambang (*Linear* dan *Halfcircular*).

1.4. Manfaat Penelitian

Bentuk geometri ambang berupa multi *halfcircular*, akan memberikan solusi mengalirkan debit yang besar dengan tinggi air di hulu pelimpah kecil jika dibandingkan dengan geometri ambang linear.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Model fisik hidraulik pelimpah ambang dilakukan pada kondisi saluran terbuka, dasar tetap (*fixed bed*) dan tanpa skala.
2. Lebar efektif ambang multi *halfcircular* diasumsikan dengan menggunakan rumus setengah keliling lingkaran.
3. Kontraksi yang terjadi pada puncak pelimpah tidak diperhitungkan.
4. Kontraksi yang terjadi pada dasar maupun dinding saluran *flume* tidak diperhitungkan.
5. Tinggi air di hilir pelimpah tidak dianalisa.
6. Aliran air pada *flume* merupakan aliran bebas.
7. Dimensi model ambang multi *halfcircular* diameter lingkaran 11,4 cm dengan jumlah 4 buah.
8. Aerasi pada dinding pelimpah tidak diperhitungkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aliran di Saluran Terbuka

Aliran di saluran terbuka merupakan aliran seragam dimana, permukaan airnya sejajar dengan dasar saluran. Tipe aliran yang terdapat pada saluran terbuka didasarkan dari beberapa macam kriteria. Salah satu yang utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan tempat (s).

Kriteria kedalaman air yang bergantung terhadap waktu, dapat dibedakan menjadi dua jenis tipe aliran, yakni aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*). Perbedaan mendasar dari kedua jenis aliran tersebut adalah aliran tetap memiliki kedalaman air yang tetap menurut waktu ataupun interval waktu tertentu. Sementara aliran tidak tetap adalah apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu. Secara matematis kedua jenis aliran dapat dituliskan sebagai berikut:

- Aliran tetap (*steady flow*) $\rightarrow \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial t} = 0$
- Aliran tidak tetap (*unsteady flow*) $\rightarrow \frac{\partial h}{\partial t} \neq 0 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$

Kriteria kedalaman air (h) bergantung terhadap tempat (s), maka dapat dibedakan menjadi dua jenis aliran, yakni aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non uniform flow*). Perbedaan mendasar dari kedua jenis aliran ini adalah, apabila aliran seragam maka kedalaman air (h) dan kecepatan aliran (v) tidak berubah menurut tempat. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial s} = 0 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial s} = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

(Angrahini, 1997)

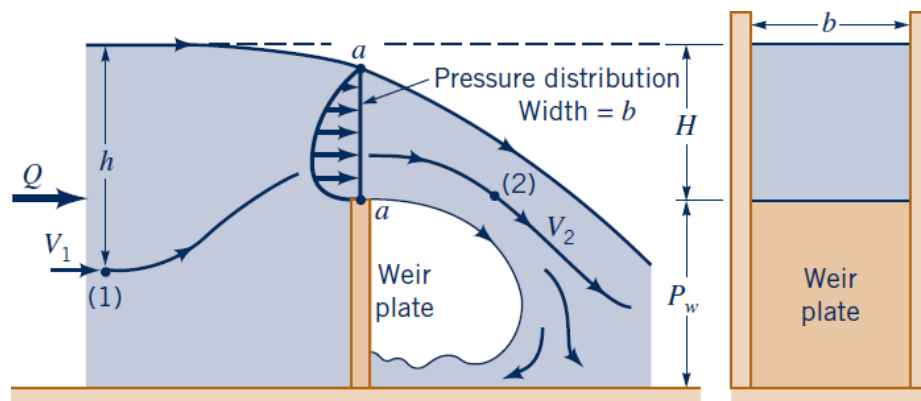
Aliran tidak seragam (*non uniform flow*) merupakan aliran dimana kedalaman air (h) dan kecepatan (v) berubah-ubah menurut tempat di sepanjang saluran (Angrahini, 1997). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial h}{\partial s} \neq 0 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial s} \neq 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

(Angrahini, 1997)

2.2. Pengukuran Laju Aliran

Berbagai tipe peralatan yang digunakan dengan prinsip-prinsip yang terdapat dalam persamaan *Bernoulli* dikembangkan untuk mengukur kecepatan fluida dan laju aliran, sebagai contoh adalah pelimpah yang berbentuk segiempat berpuncak tajam. Peralatan ini, laju aliran fluida melewati atas pelat pelimpah tergantung pada ketinggian pelimpah (P), lebar pelimpah (L), dan head (H) air diatas puncak pelimpah. Penerapan persamaan Bernoulli dapat memberikan pendekatan sederhana dari laju aliran yang diperkirakan untuk situasi ini. Walaupun aliran yang sesungguhnya sangatlah rumit.



Gambar 2.1. Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk. 2013).

Antara titik (1) dan (2) medan tekanan dan gravitasi menyebabkan aliran mengalami percepatan dari kecepatan V_1 menjadi V_2 . Pada titik (1) tekanan hidrostatiknya sebesar $P_1 = \gamma h$, dan pada titik (2) tekanan yang terjadi adalah tekanan atmosfer sebesar $P_2 = 0$. Tepat pada puncak

pelimpah, irisan (a-a), tekanan berubah dari tekanan atmosfer dipermukaan air sampai ke nilai maksimum di dalam aliran air dan kemudian kembali ke tekanan atmosfer pada bagian permukaan puncak pelimpah. Distribusi tekanan yang terjadi pada puncak pelimpah merupakan kombinasi antara kelengkungan garis arus dan gravitasi. Dalam hal ini, kecepatan yang dihasilkan berupa profil kecepatan tidak seragam pada segmen irisan tersebut. Distribusi kecepatan seperti ini dapat diperoleh dari penelitian dan eksperimen di laboratorium.

Pendekatan saat ini adalah mengasumsikan bahwa aliran pelimpah serupa dengan aliran pada orifis dengan garis arus yang bebas. Perumusan kecepatan aliran dapat diperkirakan bahwa kecepatan rata-rata yang melintasi puncak pelimpah sebanding dengan harga $\sqrt{2gH}$ dan luas aliran dari pelimpah segiempat ini sebanding dengan rumus luasan yakni “H.B”. sehingga diperoleh rumus:

$$Q = C_d \cdot H \cdot B \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = C_d \cdot H^{3/2} \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.3)$$

(Munson dkk. 2013).

Dimana, C_d merupakan konstanta yang akan ditentukan.

Penggunaan sederhana persamaan *Bernoulli* telah memberikan suatu metode untuk menganalisis aliran yang relatif rumit yang melewati suatu pelimpah. Ketergantungan fungsi yang tepat dari Q dan H telah diperoleh ($Q \sim H^{3/2}$), tetapi nilai koefisien C_d tidak diketahui. Bahkan analisis lebih lanjut pun tidak dapat memprediksi nilai tersebut secara tepat (Munson dkk. 2013).

2.3. Hukum Bernoulli

Persamaan *Bernoulli* diturunkan dengan penerapan secara langsung hukum kedua *Newton* terhadap sebuah partikel fluida yang bergerak sepanjang garis arus. Melalui persamaan *Bernoulli* sebagai berikut:

$$\int \frac{dp}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{Konstan} \dots\dots\dots (2.4)$$

(Munson dkk. 2013).

Persamaan diatas mengindikasikan bahwa jumlah dari ketiga suku diruas kiri persamaan harus tetap konstan di sepanjang garis arus yang diberikan. Persamaan berlaku untuk aliran *inviscid* (aliran yang tidak mengalami gesekan) yang mampu-mampat dan tak mampu-mampat, tetapi untuk fluida tak mampu-mampat variasi ρ terhadap p harus ditentukan sebelum suku pertama dalam persamaan diatas dapat dievaluasi. Aliran yang tak mampu mampat adalah kondisi aliran yang rapat massa fluidanya tidak berubah, contohnya adalah minyak dan air. Sementara untuk aliran yang mampu mampat adalah kondisi aliran yang rapat massa fluidanya berubah, contohnya adalah gas. Dalam hal penjelasan untuk persamaan ini adalah aliran yang tak mampu mampat yakni air.

Untuk fluida *inviscid*, tak mampu-mampat (biasanya disebut sebagai fluida ideal) persamaan (4) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{Konstan} \dots\dots\dots(2.5)$$

(Munson dkk. 2013).

Persamaan ini adalah persamaan *Bernoulli* yang digunakan secara luas. Untuk memudahkan dalam penulisan persamaan di antara dua titik (1) dan (2) sepanjang suatu garis arus, maka persamaan diatas dinyatakan dalam bentuk “*head*” dengan membagi setiap suku dengan g (gaya gravitasi). Sehingga persamaan (5) menjadi,

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

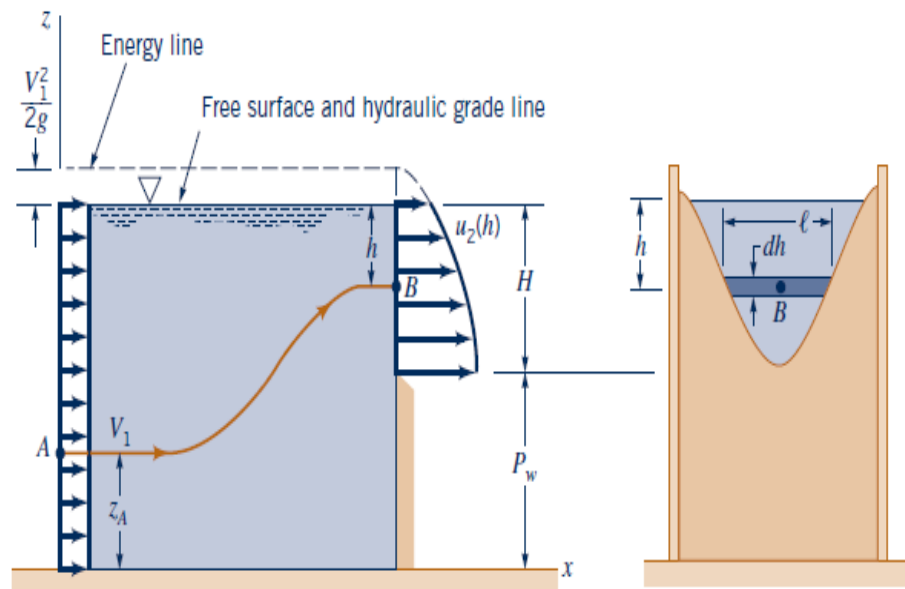
(Munson dkk. 2013).

Penekanan yang diperlukan dalam persamaan *Bernoulli* ini, hanya terbatas untuk kondisi fluida sebagai berikut (Munson dkk. 2013):

- a. Aliran *Inviscid*
- b. Aliran tetap (aliran *steady*)
- c. Aliran tak mampu-mampat
- d. Mengalir sepanjang sebuah garis arus.

2.4. Pelimpah

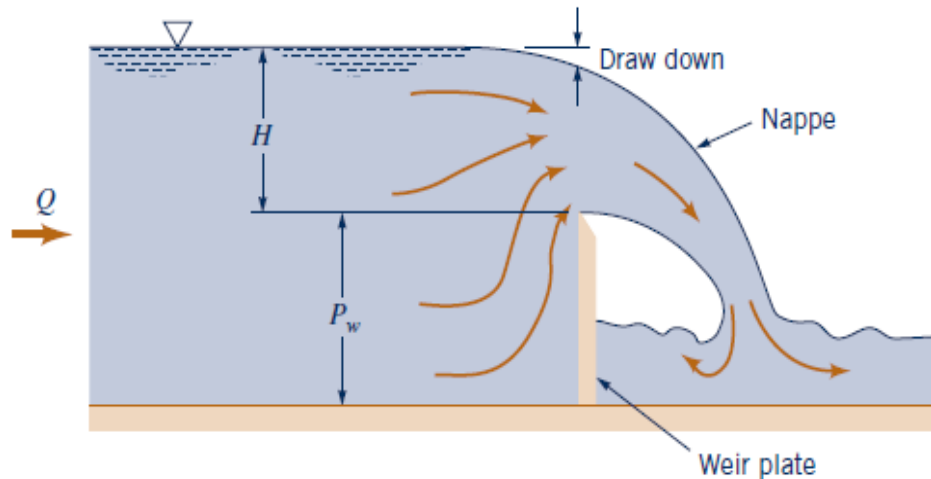
Pelimpah berpuncak tajam merupakan sebuah penghalang pada dasar saluran, dimana aliran fluida harus mengalir melewati atasnya. Sifat alamiah yang kompleks dari aliran yang melewati pelimpah, sangat sulit untuk mendapatkan Analisa yang tepat untuk aliran sebagai suatu fungsi dari parameter-parameter. Mekanisme utama yang mengatur aliran melewati sebuah pelimpah adalah gravitasi dan inersia. Dari sudut pandang yang sederhana, gaya gravitasi membuat aliran fluida lebih cepat mengalir dari ketinggian permukaan bebasnya di hulu pelimpah hingga mempunyai kecepatan yang lebih besar ketika mengalir menuruni bukit yang dibentuk oleh *nappe*.



Gambar 2.2. Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk. 2013).

Pada permukaan pelimpah terdapat efek viskos dan tegangan yang tidak bisa diabaikan. Secara umum, koefisien-koefisien yang ditentukan melalui eksperimen untuk memperhitungkan efek-efek dari viskos dan tegangan.

Pelimpah segi empat dengan lebar (B) dan tinggi pelimpah (P) dapat dilihat seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.3. Geometri Aliran Yang Melewati Pelimpah (Munson dkk. 2013).

Sebagai perkiraan awal, diasumsikan bahwa profil kecepatan di hulu pelimpah adalah seragam dan fluida mengalir secara horizontal melalui pelimpah dengan profil kecepatan tidak seragam, seperti ditunjukkan pada gambar diatas. Tekanan pada titik B (P_b) = 0, persamaan *Bernoulli* untuk aliran sepanjang garis arus irisan A-B (gambar 2.1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_A = (H + P_w - h) + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.7)$$

(Munson dkk. 2013).

Dimana, h adalah jarak antara titik B dibawah permukaan bebas. Persamaan kecepatan fluida melewati pelimpah diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_2 = \sqrt{2g \left(h + \frac{V_1^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots (2.8)$$

(Munson dkk. 2013).

Laju aliran dapat dihitung dari :

$$Q = \int_{h_1}^{h_2} v_2 dA = \int_0^H v_2 \cdot l \, dh \dots\dots\dots (2.9)$$

(Munson dkk. 2013).

Dimana $l = l(h)$ adalah lebar melintang dari sebuah bangunan pelimpah. Untuk pelimpah segiempat, $l = B$ dan persamaan laju aliran menjadi :

$$Q = \int_0^H \sqrt{2g \left(h + \frac{V_1^2}{2g} \right)} \cdot B \, dh = \sqrt{2g} \cdot B \int_0^H \left(h + \frac{V_1^2}{2g} \right)^{1/2} dh \dots\dots\dots (2.10)$$

(Munson dkk. 2013).

Atau,

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot B \left[\left(H + \frac{V_1^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

(Munson dkk. 2013).

Persamaan diatas merupakan persamaan yang rumit, dengan asumsi bahwa kecepatan di hulu pelimpah kecil maka nilai $V_1^2/2g$ dapat diabaikan. Sehingga persamaan diatas menjadi:

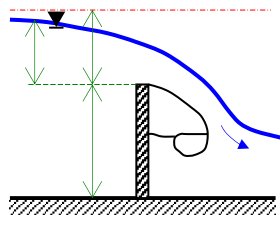

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot B \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (2.12)$$

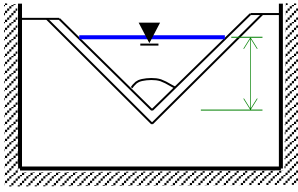
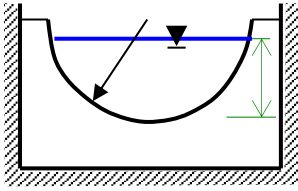
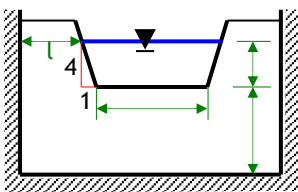
(Munson dkk. 2013).

Nilai H adalah ketinggian dari permukaan bebas hulu diatas puncak pelimpah. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.2, Karena profil aliran dipengaruhi oleh efek *drawdown* maka nilai H bukanlah jarak dari permukaan bebas di atas puncak pelimpah yang diukur langsung di atas pelimpah (Munson dkk. 2013).

Beberapa bentuk alat ukur pelimpah ambang tajam yang banyak digunakan adalah alat ukur *Rehbock*, *Thomson* (V Notch), *Cipoletti*, dan Ambang Lingkaran.

Tabel 2.1 Tipe-tipe pelimpah ambang tajam beserta bentuk persamaan

JENIS ALAT UKUR AMBANG TIPIS	PERSAMAAN DEBIT ALIRAN	KETERANGAN TAMBAHAN
	$Q = m \cdot B \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$ $H_{\text{eff}} = h + 0,11 \text{ cm}$ $m = 1,045 + 0,141 \frac{H_{\text{eff}}}{h_s}$	<ul style="list-style-type: none"> o Bentuk ambang (pisau) o Tidak ada kontraksi hilir o Lebar ambang sama dengan lebar saluran 

	$Q = m \cdot \text{tg } \frac{1}{2} \phi \cdot h^{5/2}$ $m \approx 1,4 \cdot \text{m}^{1/2} / \text{s}$	Berlaku untuk debit kecil
	$Q = m \cdot r^{1/2} \cdot h^2$ $m \approx 2,8 \cdot \text{m}^{1/2} / \text{s}$	Berlaku untuk $h < r$
 <p>ALAT UKUR CIPOLETTI</p>	$Q = m \cdot B \cdot h^{3/2}$ $m = 1,86 \cdot \text{m}^{1/2} / \text{s}$	Persyaratan : $B \geq 3h$ $h_s > 3h$ $l < 2h$ Kemiringan pisau 4 : 1

Sumber, Anggrahini, 1997

Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa aliran setelah melewati puncak mercu pelimpah merupakan semburan yang membentuk tirai atas limpahan dan tirai bawah limpahan yang tidak menempel pada dinding pelimpah. Diantara tirai bawah limpahan dan dinding pelimpah terdapat suatu kantong udara yang terbentuk dari semburan aliran yang melalui pelimpah. Oleh karenanya, dalam praktek pembuatan alat ukur ambang tajam perlu memperhatikan upaya menjaga tekanan dalam kantong udara menjadi tetap. Hal ini sangat perlu diperhatikan dikarenakan akan mempengaruhi karakteristik alat ukur, yakni:

- a. Apabila tekanan udara di dalam kantong udara menurun, maka lengkung aliran limpahan menjadi besar dan harga koefisien debit juga menjadi lebih besar.

- b. Apabila pengisian udara ke dalam kantong udara tidak teratur, maka semburan aliran limpahan akan bergetar dan aliran limpahan diatas mercu menjadi tidak tetap (*unsteady*).

2.5. Pengukuran Tinggi Air

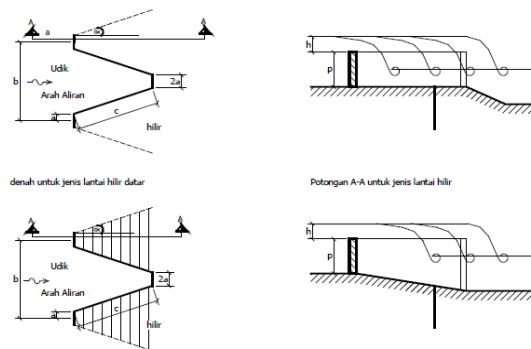
Tinggi muka air di hulu (H) diukur sebagai kedalaman di atas elevasi celah mercu bagian terendah. Pengukuran tinggi muka air udik harus dilakukan pada lokasi $4.H_{\max}$ sampai dengan $5.H_{\max}$ di udik ambang. H_{\max} adalah tinggi muka air udik maksimum yang diizinkan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti (SNI 8137:2015).

2.6. Perbandingan Penelitian Sebelumnya (*State Of The Art*)

Bentuk pelimpah dewasa ini telah mengalami perkembangan. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan baik di Indonesia maupun di Luar Indonesia, memperlihatkan pentingnya akan bentuk pelimpah. Konsep pengembangan dari pemikiran untuk memperpanjang harga B (lebar ambang pelimpah) yang lebih besar ke arah hulu dan hilir aliran, tanpa memperlebar bentang spillway (B_d), maka alinyemen mercu *spillway* diberi bentuk-bentuk sebagai berikut:

1. Pelimpah Gigi Gergaji (Kriteria Perencanaan, 2003) digunakan pada sungai dengan karakteristik lebar sungai kecil, debit sungai cukup besar, dan tidak membawa material bawaan yang besar. Parameter yang harus diperhatikan dalam merencanakan tipe ini adalah:
 - a. Lokasi, tinggi mercu, debit banjir rencana dan stabilitas perlu didesain dengan mengacu pada acuan yang ada pada pelimpah ambang tetap biasa.
 - b. Radius atau jari-jari mercu perlu diambil lebih besar atau sama dengan 0,1 meter.

Sebagai gambaran dari bentuk pelimpah gigi gergaji sebagai berikut:



Gambar 2.4. Layout dan Potongan Melintang Pelimpah Gergaji (kriteria perencanaan.2013)

2. Penelitian yang dilakukan oleh B.M.Crookston, A.M.ASCE dan B.P.Tullis M.ASCE pada tahun 2012 tentang “*arced labyrinth weirs*”.

Persamaan dasar yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

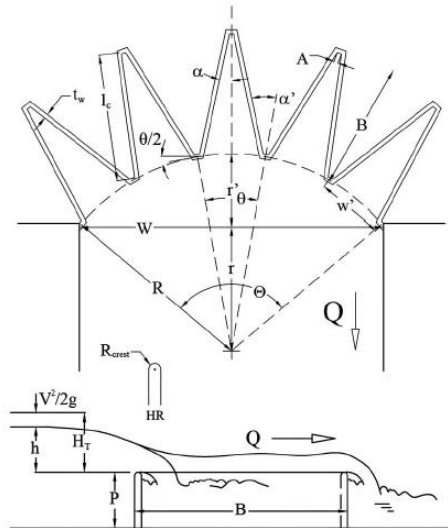
$$Q = \frac{2}{3} C_d \cdot H_T^{3/2} \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.13)$$

(Crookston. 2012).

Dimana H_T adalah tinggi energi dari rumus $V^2/2g + h$,
 h adalah kedalaman air pada piezometer.

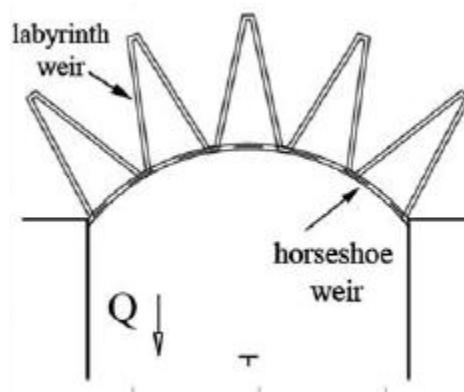
- Permasalahan pada penelitian ini adalah :
 1. Membandingkan koefisien debit terhadap fungsi H_T/P untuk jenis pelimpah tersebut dengan sudut lingkaran sebesar 6° dan 12° .
 2. Mencari perbandingan performance debit untuk pelimpah tipe *arced labyrinth weir* yang diletakkan di saluran dan di waduk.
 3. *Arced labyrinth weir* merupakan kombinasi pelimpah dari yang berbentuk setengah lingkaran dan labirin.
- Variabel yang diteliti :
 1. Sudut pelimpah (seperti pada gambar 2.5)
 2. Tinggi pelimpah (P)
 3. Debit (Q)
 4. Garis Arus
 5. Tinggi air di hulu pelimpah (H_T)
 6. Bentuk Alinyemen Pelimpah

Nilai koefisien debit (C_d) diperoleh dari persamaan (13), nilai C_d berpengaruh pada bentuk puncak pelimpah, α , R dan θ (lihat gambar 2.5).



Gambar 2.5. Layout dan Potongan Melintang Arced Labyrinth Weirs (Crookston, 2012)

Data debit dan tinggi energi (H_T) diperoleh dari hasil percobaan model fisik laboratorium. Percobaan “*arced weir*” merupakan kombinasi dari pelimpah gigi gergaji dan pelimpah tapal kuda. Dari hasil penelitian tersebut, debit *arced weir* lebih besar jika dibandingkan dengan pelimpah tapal kuda.



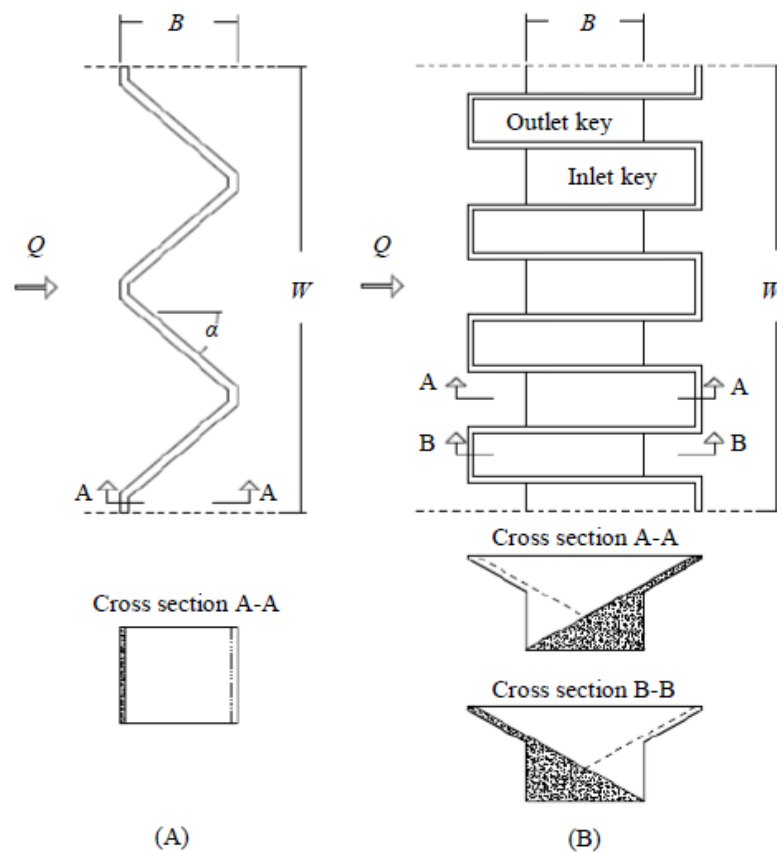
Gambar 2.6. Kombinasi Pelimpah Gigi Gergaji dan Pelimpah Tapal Kuda

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh persamaan untuk koefisien debit untuk pelimpah gigi gergaji (*labyrinth weirs*) di *flume* sebagai berikut:

$$C_d = A \left(\frac{H_T}{P} \right)^{\left(B \frac{H_T^C}{P} \right)} + D \dots\dots\dots (2.14)$$

(Crookston, 2012).

3. Penelitian oleh Ricky M.Anderson pada tahun 2011 tentang pelimpah “*piano key*” yang merupakan pengembangan dari pelimpah gigi gergaji (*labyrinth weir*). Perbedaan dari kedua pelimpah tersebut, dapat dilihat pada gambar berikut ini:

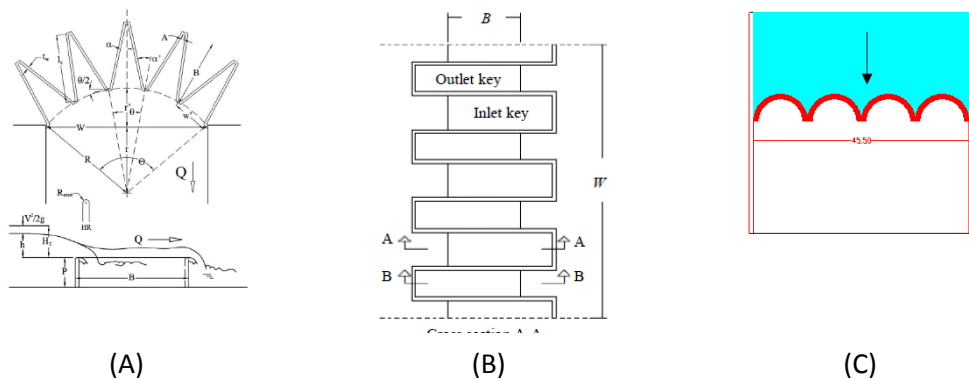


Gambar 2.7. (A) Pelimpah gigi gergaji, (B) Pelimpah Piano Key (Anderson M Ricky, 2011)

Secara rumus dasar, menggunakan persamaan (13). Pelimpah *piano key*, terlihat lebih sederhana sehingga diperkirakan biaya konstruksi lebih murah jika dibandingkan dengan pelimpah gigi gergaji.

- Variabel yang diteliti :
 1. Tinggi pelimpah (P)
 2. Tinggi air di hulu pelimpah (H_T)
 3. Debit (Q)
 4. Koefisien debit (Cd)
- 4. Dalam penelitian yang dilakukan ini, terdapat bentuk yang berbeda dari bentuk pada point 1, 2 dan 3 sebelumnya. Dari ukuran lebar pelimpah dan tinggi pelimpah, saluran yang digunakan untuk model fisik, serta bahan atau material model yang digunakan.

Variabel yang diteliti memiliki kesamaan yakni tinggi air hulu pelimpah, debit aliran, dan koefisien debit. Selain itu juga dalam penelitian ini, model yang dibandingkan adalah bentuk pelimpah ambang. Terdapat dua bentuk pelimpah ambang yakni *linear* dan *halfcircular* (setengah lingkaran). Seperti tampak pada gambar berikut, perbedaan bentuk penelitian sebelumnya dengan yang akan diteliti:



Gambar 2.8. Penelitian 2012, (B) Penelitian 2011, (C) Penelitian Sekarang (2017)

2.7. Streamline, Streakline, Pathline

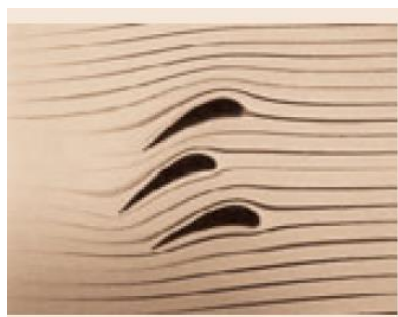
Menurut (Munson dkk. 2013) terdapat berbagai konsep yang digunakan untuk memvisualisasikan dan menganalisis medan aliran. Dalam analisis aliran terdapat tiga konsep ini, yakni garis arus (*streamline*), garis-gurat (*streakline*) dan garis jejak (*pathline*).

Garis arus (*streamline*) sering digunakan dalam kajian analitik, sedangkan garis-gurat dan garis-jejak sering dipakai dalam kajian eksperimental. Sebuah garis arus adalah sebuah garis yang di mana-mana menyinggung (tangen terhadap) medan kecepatan. Jika alirannya tetap (*steady*) tidak ada yang berubah terhadap waktu disebuah titik (termasuk arah kecepatan), sehingga garis arusnya adalah garis-garis tetap dalam ruang. Untuk aliran tak tetap (*unsteady*), garis arus dapat berubah bentuk menurut waktu. Garis arus diperoleh secara analitik dengan integrasi persamaan garis yang menyinggung medan kecepatan. Untuk aliran dua dimensi, kemiringan dari garis arus dy/dx , harus sama dengan tangen dari sudut yang dibuat oleh vektor kecepatan dengan sumbu x atau dalam persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} \dots\dots\dots (2.15)$$

(Munson dkk. 2013).

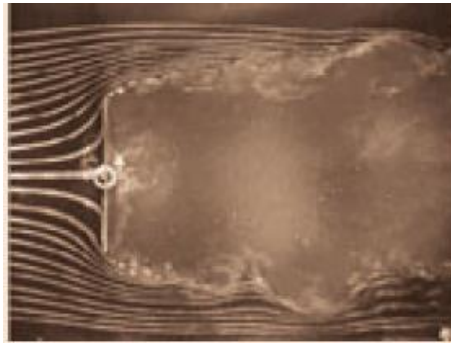
Jika medan kecepatan diketahui sebagai fungsi dari x dan y (dan t jika aliran *unsteady*), maka persamaan (15) dapat diintegrasikan untuk mendapatkan persamaan dari garis arus. Berikut ini contoh gambar garis arus:



Gambar 2.9. Ilustrasi Garis Arus (*Streamline*) (Munson dkk. 2013).

Sebuah garis gurat (*streakline*) terdiri dari seluruh partikel di dalam sebuah aliran yang sebelumnya telah melewati titik yang sama. *Streakline* lebih banyak digunakan sebagai alat laboratorium dibandingkan sebagai

alat analitis. Garis seperti ini dapat dihasilkan dengan cara terus-menerus menginjeksikan cairan penanda. Jika alirannya tetap, setiap partikel yang diinjeksikan berurutan akan mengikuti tepat dibelakang partikel yang terdahulu, sehingga membentuk *streakline* yang *steady* tepat sama dengan garis arus melalui titik injeksi.



Gambar 2.10. Ilustrasi Garis Gurat (*Streakline*) (Munson dkk. 2013).

Sebuah garis jejak (*pathline*) adalah garis yang dilintasi oleh sebuah partikel tertentu ketika partikel tersebut mengalir dari satu titik ke titik lainnya. Garis jejak adalah konsep *Lagrangian* yang dapat dihasilkan di laboratorium dengan menandai fluida. Jika alirannya *steady*, jejak yang akan dilewati oleh partikel yang ditandai (sebuah garis jejak) akan sama dengan garis yang dibentuk oleh seluruh partikel lain yang sebelumnya telah melewati titik injeksi (sebuah *streakline*)



Gambar 2.11. Ilustrasi Garis Jejak (*Pathline*) (Munson dkk. 2013).

2.8. Analisis Regresi

Apabila data terdiri dari dua variabel atau lebih, perlu dipelajari cara variabel tersebut berhubungan. Hubungan yang didapat tersebut umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antar variabel. Studi yang menyangkut masalah ini dikenal sebagai analisis regresi. Pada analisis regresi ada dua jenis variabel, yaitu variabel bebas (variabel predictor) dan variabel tak bebas (variabel respon) (Sudjana, 1992).

Untuk membantu menentukan persamaan yang menyatakan hubungan antar variabel, langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang menunjukkan nilai variabel yang diamati. Kemudian dibuat diagram pencar (*scatter diagram*) data hasil pengukuran sehingga dapat dibayangkan suatu kurva regresi yang menyatakan hubungan antar variabel tersebut. Regresi non linier dipakai apabila regresi linear tidak dapat menggambarkan bentuk hubungan kelinieran. Banyak pula data pengamatan yang terjadi sebagai akibat adanya lebih dari dua variabel, untuk ini diadakan kajian regresi linier berganda.

2.9. Kesalahan Relatif

Hasil perhitungan berdasarkan persamaan regresi hubungan antar variabel yang telah didapatkan, dicari perbedaan hasilnya terhadap hasil pengukuran. Perbedaan tersebut didefinisikan sebagai nilai kesalahan relatife yang terjadi antara nilai observasi dan nilai simulasi. Adapun persamaan yang digunakan adalah (Sudjana, 1992):

- Kesalahan relatif

$$Kesalahan\ Relatif = \left| \frac{Q_{amb.tips} - Q_{thom}}{Q_{thom}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

- Nilai RMSE (rata-rata kuadrat kesalahan

$$RMSE = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^1 (Q_{analy,i} - Q_{obs,i})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Kalibrasi debit dilakukan pada variasi debit sebanyak 10 (sepuluh) variasi. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan alat pengukur debit ambang tipis memiliki nilai koreksi yang kecil. Yakni debit rata-rata tidak melebihi 10%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

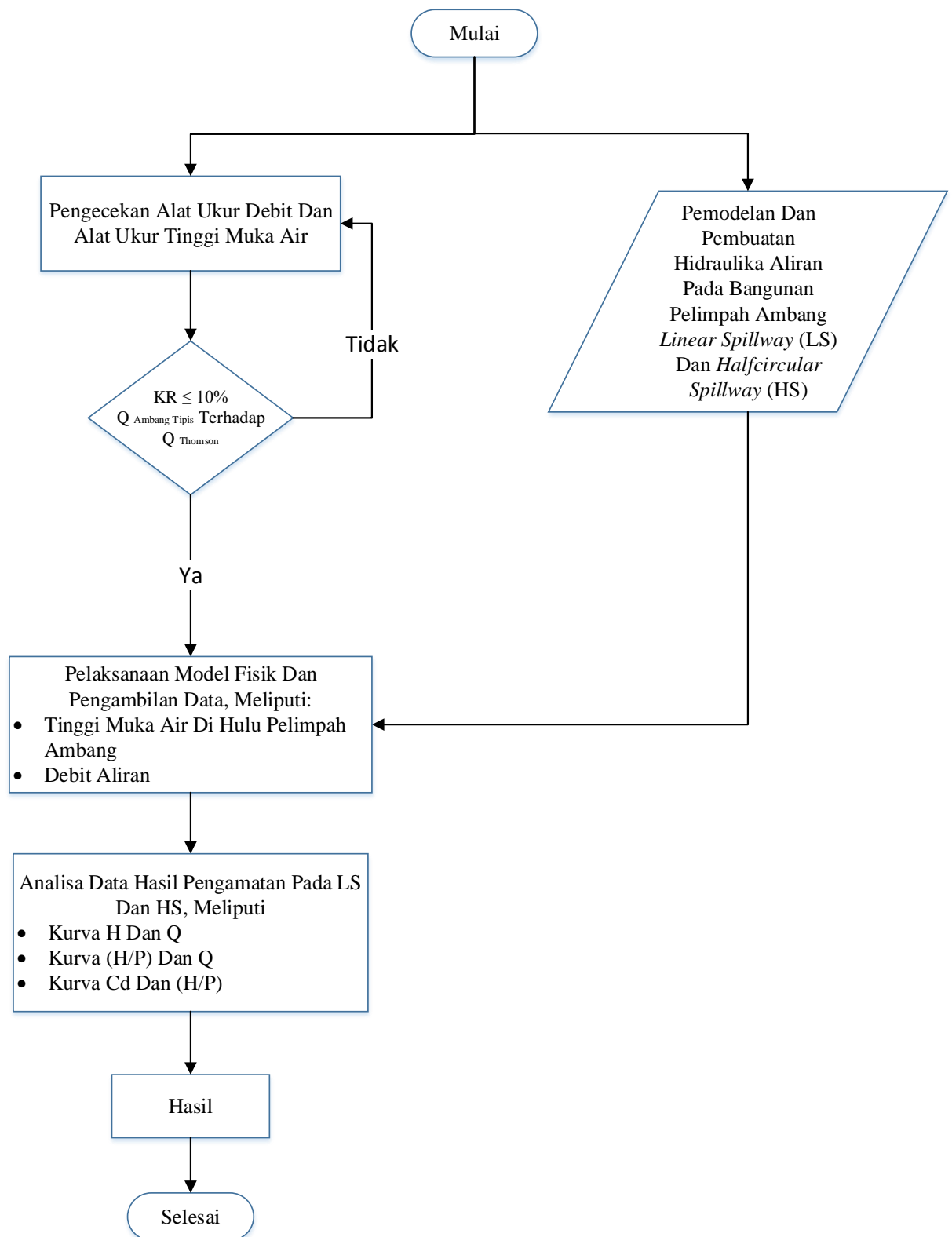
3.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

Bagan alir metodologi penelitian seperti terlihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2. Khususnya mengenai pemodelan geometri ambang bentuk linear dan setengah lingkaran (multi *half-circular*). Dalam hal penyebutan untuk pelimpah linear akan selanjutnya disebut ambang *linear* dan pelimpah setengah lingkaran disebut ambang multi *halfcircular*.

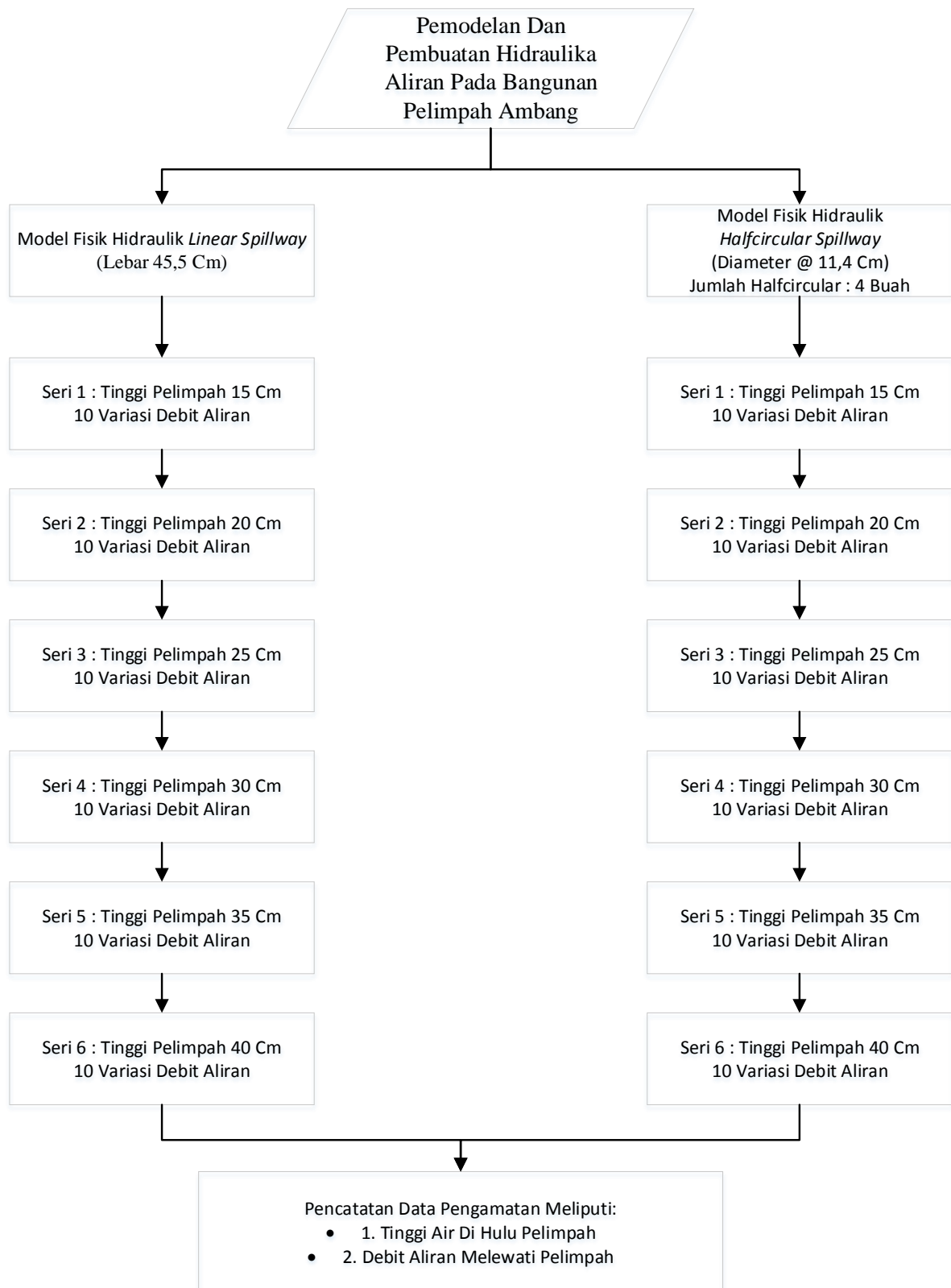
Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data penelitian, pembuatan model uji di laboratorium, proses running model, pencatatan dan analisa data, membandingkan hasil penelitian dengan model pelimpah, dan kesimpulan.

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan penelitian ini, maka metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif. Aswicaksana (2004) menjelaskan bahwa metode deskriptif merupakan metode yang menuturkan, menganalisis, dan mengklarifikasi. Penelitian deskriptif bertujuan untuk membuat deskriptif, gambaran atau lukisan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta dan sifat-sifat antar fenomena yang diteliti.

Secara terperinci, kerangka pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1. Flowchart Urutan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.2. Flowchart Skenario Penelitian

3.2 Rancangan penelitian

Rancangan penelitian diawali dengan proses pemilihan alat yang akan digunakan. Adapun media yang digunakan sebagai berikut:

a. Saluran *Flume*

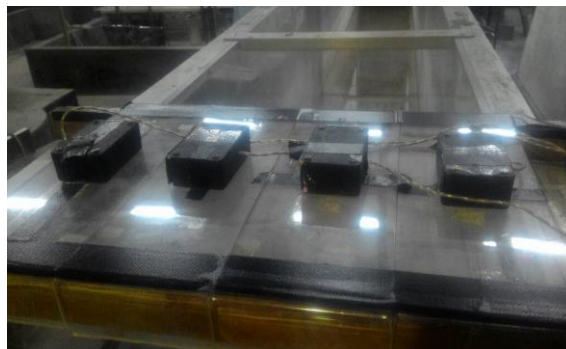
Saluran *flume* yang digunakan adalah saluran flume yang ada di Laboratorium Hidraulika dan Teknik Pantai Teknik Sipil FTSP ITS. Dengan ukuran panjang flume 7,23 meter, lebar flume 50 cm, Tinggi flume 49 cm. berikut ini gambar flume yang digunakan,



Gambar 3.3. Saluran Flume di Laboratorium (Dokumentasi Peneliti)

b. Alat Pengukur Tinggi Air

Pengukuran tinggi air di hulu pelimpah akan menggunakan dua metode, yakni metode pengukuran manual dengan menggunakan penggaris dan metode pengukuran dengan menggunakan alat *Ultrasonic Level Water Recorder* (ULWR). Alat ULWR terdiri dari 3 sensor yang disusun berdampingan. Tampak seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.4. (A) Sensor Pembaca Muka Air, (B) Pengolah dan Perekaman Data (Dokumentasi Peneliti)

c. Alat Pengukur Debit Air

Pengukuran debit yang melewati saluran *flume*, akan diukur dengan menggunakan ambang tipis yang dilengkapi dengan pembacaan *point gauge*. Pembacaan *point gauge* dilakukan lima kali pembacaan, tinggi air yang terbaca kemudian di hitung rata-rata. Berikut ini gambar ambang tipis di Laboratorium:



Gambar 3.5. (A) Ambang Tipis, (B) *Point Gauge* untuk Pembacaan tinggi air (Dokumentasi Peneliti)

3.3 Tahapan penelitian

3.3.1 Perumusan Hidraulika Aliran pada Bangunan Pelimpah Ambang.

Jumlah seri dalam penelitian ini sebanyak 12 Seri yang terdiri dari pelimpah dengan bentuk ambang *Linear* dan pelimpah ambang Multi *Halfcircular*

3.3.2 *Running Model*

Setelah model dibuat, kemudian dilakukan running dengan mengalirkan air ke *flume* menggunakan pompa kecil dan pompa besar yang tersedia di Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil FTSP - ITS. Percobaan dilakukan untuk model pelimpah ambang *linear* dari tinggi minimum 15 cm sampai dengan tinggi maksimum 40 cm. kemudian dicatat data ketinggian air di hulu pelimpah. Setelah tercatat semua, kemudian dengan debit yang sama dilakukan pada bentuk pelimpah ambang selanjutnya yakni multi *halfcircular*. Perlakuan sama seperti

pelimpah ambang *linear*, dicatat semua data ketinggian air di hulu ambang dengan berbagai debit. Pencatatan tinggi muka air dilakukan secara manual dan menggunakan alat *recorder* dengan jumlah sensor 4 buah.

3.3.3 Pengamatan dan Pengukuran Model Fisik Hidraulik

Selama berlangsungnya pengujian, pengamatan dan pengukuran dilakukan pada titik-titik yang ditentukan. Jenis pengamatan dan pengukuran adalah:

- Pengukuran kedalaman air pada hulu pelimpah.

Pengukuran kedalaman air dilakukan dengan 2 cara yakni secara manual yakni dengan menggunakan penggaris dan menggunakan *Ultrasonic Level Water Recorder* (ULWR)

- Pengukuran debit.

Pengukuran debit yang melewati pelimpah, diukur dengan alat ambang tipis yang telah terpasang di hilir saluran *flume*. Alat pengukur debit berupa ambang tipis.

- Mengamati kondisi aliran di hulu dan di puncak pelimpah

Pengamatan kondisi aliran merupakan bagian yang perlu diteliti selain pengukuran tinggi air dan debit aliran. Terutama pada pelimpah ambang multi *halfcircular*. Perilaku aliran pada saat melewati puncak pelimpah dan pola aliran. Pengamatan dilakukan secara visual dan perekaman video.

3.3.4 Kalibrasi Alat Ukur Debit

Prinsip kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan membandingkan hasil pengukuran debit air pada ambang tipis ($Q_{\text{amb.tipis}}$), dan debit air dari alat ukur Thomson (Q_{thom}). Perbandingan antara debit yang dihasilkan oleh kedua alat ukur ambang tipis tidak boleh melebihi dari batas yang sudah disyaratkan. Pembatasan kesalahan relatif diambil 10%. Apabila kesalahan relatif rata-rata yang

terjadi lebih kecil, maka kalibrasi hanya dilakukan dengan cara penyesuaian kurva dan sebaliknya apabila lebih besar perlu dicari koefisien kalibrasi.

3.3.5 Analisa Data

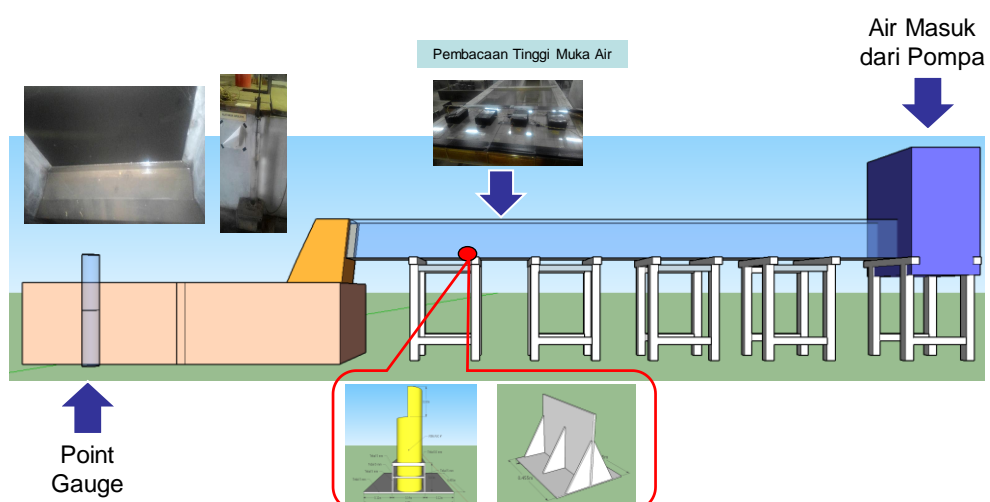
Data-data hasil pengamatan, kemudian dianalisa. Hasil analisa terdiri dari 3 (tiga) yakni:

- Analisa tinggi muka air dan tinggi pelimpah dengan debit aliran pada seri 1 sampai dengan seri 12. Dari hasil data pengamatan, dibuat grafik hubungan antara tinggi air, tinggi pelimpah (H/P) dengan debit aliran (Q).
- Analisa koefisien debit (C_d) dengan tinggi muka air dan tinggi pelimpah pada seri 1 sampai dengan seri 12. Dari hasil data pengamatan, dibuat grafik hubungan antara koefisien debit (C_d) dan tinggi air, tinggi pelimpah (H/P).
- Nilai koefisien debit diperoleh dari hasil debit alat ukur ambang tipis

3.3.6 Kesimpulan

Setelah semua analisa dan perhitungan dilakukan maka ditarik suatu kesimpulan dari semua tahapan kegiatan yang dilakukan.

3.4 Skema Penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang pengujian penelitian dengan menggunakan model fisik pada 2 (dua) bentuk geometri ambang yakni ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Masing-masing model pelimpah ambang memiliki variasi ketinggian berjumlah 6 variasi. Dari ketinggian maksimum 40 cm sampai dengan ketinggian minimum model 15 cm. Pengujian dengan menggunakan model fisik akan dilaksanakan penyelidikan dengan tujuan untuk:

1. Menyelidiki perbedaan tinggi air di udik pelimpah ambang pada kedua bentuk geometri ambang yakni ambang linear dan ambang multi *halfcircular*.
2. Menyelidiki debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*
3. Mendapatkan nilai koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular*.
4. Hasil dan Pembahasan untuk pelimpah ambang multi *halfcircular* terbatas pada perbandingan lebar ambang multi *halfcircular* ($4 \times \text{keliling lingkaran} = 71,6 \text{ cm}$) dan lebar saluran flume (45,5 cm) yakni sebesar 1,57.

Dalam pengujian model pelimpah ambang, dilakukan simulasi aliran melalui ambang dengan berbagai model seri. Jenis aliran yang digunakan dalam pengujian ini adalah aliran sempurna (aliran bebas). Pembahasan dalam bab ini meliputi:

1. Komponen Model Penelitian
2. Pemilihan Alat Ukur
3. Skenario Uji model pelimpah ambang
4. Pembuatan Model Uji Penelitian
5. Data Uji Model Fisik dan Hasil Pengujian
6. Perbandingan Hasil Uji Model Fisik Hidraulik Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*

4.1. Komponen Model Penelitian

Komponen model pengujian ini terdiri dari saluran *flume* (gambar 4.1) dan pompa berkapasitas $\pm 7 \text{ liter/dt}$ dan $\pm 30 \text{ liter/dt}$ (gambar 4.2) untuk suplai air

menuju saluran *flume*. Kontrol debit diberikan di hilir model dengan bantuan alat ukur debit ambang tipis di dalam bak kontrol (penjelasan alat ukur debit diberikan pada sub bab 4.2.1). pengukuran elevasi air diletakkan di udik model penelitian berupa sensor yang disusun secara berdampingan (penjelasan alat ukur tinggi air diberikan pada sub bab 4.2.2).



Gambar 4.1. Saluran Flume di Laboratorium (Dokumentasi Peneliti)



(a)



(b)

Gambar 4.2. a. Pompa Kapasitas 7 Ltr/dt, b. Pompa Kapasitas 30 Ltr/dt (Dokumentasi Peneliti)

4.2. Pemilihan Alat Ukur

Untuk mengetahui secara pasti besarnya debit yang melalui model penelitian dan tinggi air di udik model, maka dibutuhkan beberapa alat bantu ukur. Alat bantu yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yakni alat ukur debit dan

alat ukur tinggi air. Pemilihan alat ukur tersebut disesuaikan dengan ketersediaan alat di laboratorium.

4.2.1. Alat Ukur Debit

Penyelidikan debit aliran dalam pengujian model penelitian ini menggunakan alat ukur ambang tipis. Pemilihan alat ukur debit tersebut didasari oleh:

- Saluran *flume* yang digunakan untuk pemasangan model penelitian tidak bisa secara bersamaan untuk pemasangan alat ukur debit lainnya, seperti alat ukur *V-notch (Thomson)*
- Alat ukur ambang tipis sudah terpasang secara permanen pada bak penampungan bagian hilir, serta berhubungan langsung dengan saluran *flume* yang akan digunakan.

Alat ukur ambang tipis yang digunakan adalah alat ukur yang terpasang seperti tampak pada gambar 4.3. Rumus dasar pada alat ukur debit tersebut sebagai berikut:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \cdot B H^{3/2} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana,

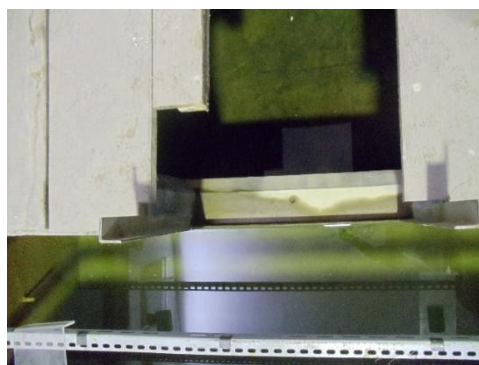
Q : Debit yang mengalir di alat ukur Ambang tipis (m^3/dt)

C_d : Koefisien debit

H : Tinggi air di hulu ambang tipis (m)

g : Percepatan Gravitasi (m/dt^2)

B : Lebar pelimpah (m)

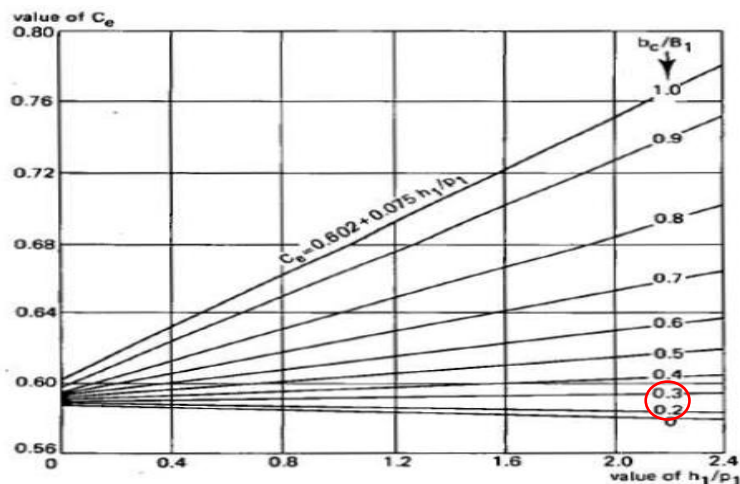


Gambar 4.3. Alat Ukur Ambang Tipis Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Koefisien debit (C_d) untuk alat ukur ambang tipis didasarkan pada teori *Kindvaster* dan *Carter* pada tahun 1957 yakni perbandingan antara lebar pelimpah dan lebar saluran, serta tinggi air di hulu pelimpah dan tinggi pelimpah. Alat ukur ambang tipis yang digunakan, memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Lebar Pelimpah (b) : 51,15 cm
- Lebar Saluran (B) : 174,17 cm
- Tinggi Pelimpah : 59,34 cm
- Sehingga, $b/B = 0.293$

Untuk memperoleh nilai koefisien debit berdasarkan pada karakteristik alat ukur ambang tipis yang digunakan maka berdasarkan teori *Kindvaster* dan *Carter* digunakan grafik seperti berikut ini:



Gambar 4.4. Penentuan Nilai C_d untuk Alat Ukur Debit Ambang Tipis di Laboratorium (*Kindvaster* dan *Carter*, 1957)

Penyelesaian untuk mendapatkan koefisien K_1 dan K_2 (pers. 4.2) adalah dengan interpolasi nilai $b/B = 0,3$ dan $b/B = 0,2$ sesuai grafik diatas (gambar 4.4). Sehingga diperoleh persamaan koefisien debit dan nilai koefisien debit untuk penelitian sebagai berikut:

$$C_d = K_1 + K_2 \frac{H}{p}$$

$$C_d = 0.5899 + 0.0017 \frac{H}{p} \dots \dots \dots (4.2)$$

Tabel 4.1. Koefisien Debit Alat Ukur Ambang Tipis

Percobaan Ke-	P (m)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.5934	0.0480	0.081	0.5901
2	0.5934	0.0450	0.076	0.5901
3	0.5934	0.0420	0.071	0.5901
4	0.5934	0.0400	0.067	0.5900
5	0.5934	0.0360	0.061	0.5900
6	0.5934	0.0360	0.061	0.5900
7	0.5934	0.0300	0.051	0.5900
8	0.5934	0.0240	0.040	0.5900
9	0.5934	0.0160	0.027	0.5900
10	0.5934	0.0120	0.020	0.5900
C _{d rata-rata}				0.5900

Sumber: Perhitungan

Dari hasil hitungan (tabel 4.1), koefisien debit rata-rata diperoleh sebesar 0,5900 sehingga persamaan 4.1 menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} 0,5900 \sqrt{2 \cdot g} \cdot B H^{3/2} \dots\dots\dots(4.3)$$

A. Kalibrasi Alat Ukur Debit

Untuk mengetahui keakuratan alat ukur debit ambang tipis melalui persamaan 4.3, maka sebelum digunakan pada serangkaian pengujian debit model penelitian terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur debit tersebut. Kalibrasi dilakukan agar debit yang melewati masing-masing model penelitian dapat terukur dengan benar, tepat dan teliti sesuai dengan kondisi saluran serta peralatan yang digunakan.

Alat ukur ambang tipis dikalibrasi dengan menggunakan alat ukur *Thomson* yang dipasang pada saluran *flume* (gambar 4.5). Kalibrasi alat ukur debit mengacu pada hukum bejana berhubungan yaitu jika tinggi muka air dalam kondisi konstan, maka $Q_1 = Q_2$. Dengan Q_1 adalah debit aliran yang melewati alat ukur ambang tipis dan Q_2 merupakan debit aliran yang melewati alat ukur Thomson. Debit yang diperoleh dari alat ukur Thomson dianggap yang paling akurat dan teliti sehingga

dipakai sebagai dasar dalam melakukan kalibrasi terhadap alat ukur ambang tipis untuk mengukur debit dari model penelitian.

Alat ukur debit *Thomson* yang digunakan, sudah tersedia di Laboratorium dan telah mengikuti standar alat ukur *V-notch*. Nilai koefisien debit (C_d) diperoleh dari penelitian sebelumnya (Sumirman E, 2013) yakni sebesar 0,581. Rumus dasar pada alat ukur debit Thomson sebagai berikut:

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} H^{5/2} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana,

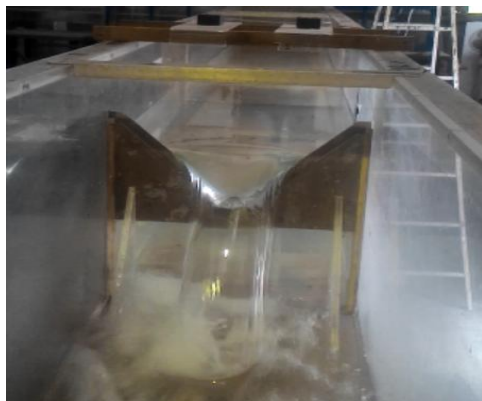
Q : Debit yang mengalir di alat ukur *Thomson* (m^3/dt)

C_d : Koefisien debit (0,581)

H : Tinggi air diatas ambang *V-notch* (m)

g : Percepatan Gravitasi (m/dt^2)

α : Sudut V- notch (90°)



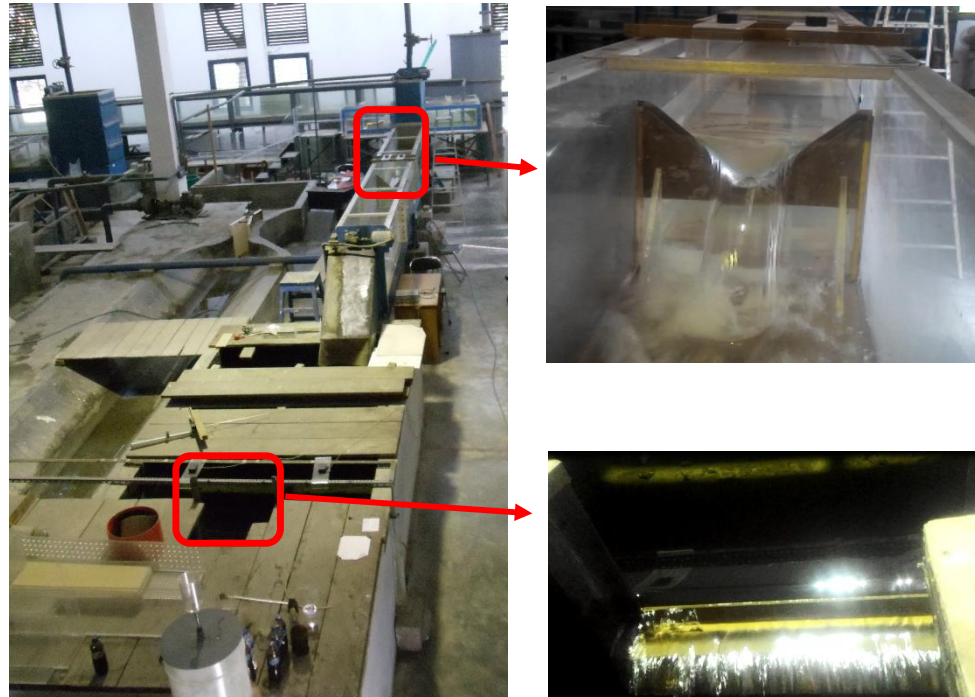
(a)



(b)

Gambar 4.5. Aliran Air Melewati Alat Ukur Thomson, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Pada saat air dialirkan dari pompa menuju saluran *flume* (gambar 4.6), pertama kali debit akan terukur dengan alat ukur Thomson, kemudian pada bagian hilir debit akan terukur kembali oleh alat ukur ambang tipis. Pengamatan yang terukur adalah tinggi muka air di udik masing-masing alat ukur, setelah itu perhitungan debit mengacu pada persamaan 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.6. Kalibrasi Alat Ukur Debit (Dokumentasi Peneliti)

Proses perhitungan kalibrasi dilakukan dengan menghitung besarnya kesalahan relatif yang diperoleh dari debit alat ukur Thomson dan alat ukur ambang tipis. Pembatasan kesalahan relatif diambil 10%. Apabila kesalahan relatif rata-rata yang terjadi lebih kecil, maka kalibrasi hanya dilakukan dengan penyesuaian kurva dan sebaliknya apabila lebih besar maka perlu dicari koefisien kalibrasi (Priyantoro dan Supriyanto 1998:32). Selain itu juga kalibrasi debit dilakukan dengan penggambaran grafik kedua alat ukur debit. Sebagai acuan debit adalah alat ukur debit *Thomson*.

Percobaan debit dilakukan pada tanggal 10 September 2017 di Laboratorium Teknik Pantai dan Hidraulik Departemen Teknik Sipil ITS. Dalam proses ini debit yang diperoleh dari alat ukur *Thomson* digunakan sebagai dasar dalam melakukan kalibrasi. Jumlah debit yang dilakukan untuk kalibrasi ini berjumlah 10 (sepuluh) debit. Tabel 4.2 menyajikan data hasil pengamatan tinggi muka air di udik alat ukur (kolom 2 dan kolom 4) dan hasil perhitungan debit masing-masing alat ukur (kolom 3 dan kolom 5).

Tabel 4.2. Kalibrasi Alat Ukur Ambang Tipis Terhadap Alat Ukur Thomson

Percobaan ke -	H air (m)	Q (m3/s)	H air (m)	Q (m3/s)	KR (%)
	Alat Ukur Thomson		Alat Ukur Ambang Tipis		
1	2	3	4	5	6
1	0.13	0.00852	0.05	0.00859	0.80
2	0.13	0.00758	0.04	0.00769	1.54
3	0.12	0.00691	0.04	0.00697	0.75
4	0.12	0.00629	0.04	0.00616	2.01
5	0.11	0.00576	0.03	0.00566	1.75
6	0.11	0.00514	0.03	0.00510	0.75
7	0.10	0.00404	0.03	0.00393	2.75
8	0.08	0.00276	0.02	0.00269	2.63
9	0.07	0.00151	0.01	0.00138	8.28
10	0.05	0.00063	0.01	0.00066	5.65
KR rata - rata (%)					2.69

Sumber: Perhitungan

Keterangan tabel:

Kolom 2 : Pengamatan bacaan tinggi muka air alat ukur thomson

Kolom 3 : Hitungan debit dengan persamaan 4.4

Kolom 4 : Pengamatan bacaan tinggi muka air alat ukur ambang tipis

Kolom 5 : Hitungan debit dengan persamaan 4.3

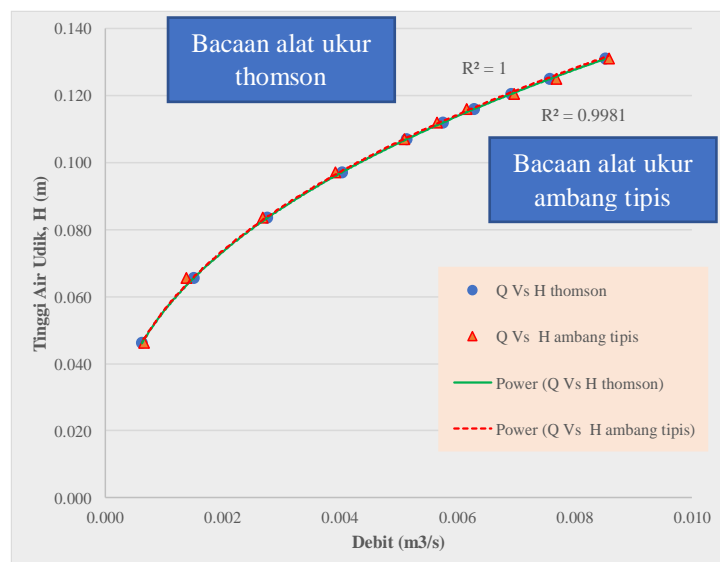
Kolom 6 : Nilai KR mengikuti persamaan 2.16

Dari tabel diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kesalahan relatif rata-rata alat ukur debit ambang tipis terhadap alat ukur Thomson berdasarkan tabel diatas adalah 2,69 %. Hal ini dapat dikatakan bahwa pembatasan kesalahan relatif tidak melebihi 10% sehingga memenuhi untuk alat ukur debit ambang tipis.
2. Alat ukur ambang tipis kemudian akan digunakan pada pengukuran debit untuk model penelitian pelimpah ambang dengan tingkat keakuratan bacaan diatas dari 90%.

Selain penentuan kesalahan relatif (tabel 4.2, kolom 6), kalibrasi alat ukur debit juga dapat dikontrol menggunakan grafik hubungan muka air udik dan debit. Gambar 4.7 menunjukkan grafik kalibrasi pada kedua alat ukur debit. Sebagai acuan dalam grafik tersebut adalah garis regresi hubungan air di udik dan debit pada alat

ukur *Thomson* (tabel 4.2, kolom 2 dan kolom 3). Proses kalibrasi dengan cara ini adalah melalui penggambaran grafik hubungan antara tinggi air di udik alat ukur *Thomson* dan debit hasil bacaan alat ukur ambang tipis (tabel 4.2, kolom 2 dan kolom 5).



Gambar 4.7. Grafik Kalibrasi Alat Ukur Ambang Tipis terhadap Alat Ukur Debit *Thomson*

Secara ringkas gambar 4.7 dapat dikemukakan hal-hal sebagai berikut:

1. Nilai R^2 hubungan antara tinggi muka air udik dan debit alat ukur ambang tipis terhadap garis regresi alat ukur *Thomson* menunjukkan nilai 0,9981. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian air di hulu (H) pada alat ukur Thomson berpengaruh terhadap debit hasil bacaan alat ukur ambang tipis dengan persentase sebesar 99,81%. Sementara sisanya 0,19% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Alat ukur debit ambang tipis kemudian akan digunakan pada pengukuran debit selanjutnya untuk model penelitian pelimpah ambang dengan tingkat keakuratan bacaan diatas dari 90%.

B. Koefisien Debit Koreksi

Dari hasil kalibrasi, penggunaan alat ukur debit ambang tipis memenuhi syarat untuk digunakan pada pengamatan penelitian selanjutnya. Namun demikian

perlu dilakukan perhitungan koefisien debit koreksi dengan tujuan untuk menyesuaikan perbedaan debit yang diperoleh dari alat ukur *Thomson* dan alat ukur ambang tipis. Alat ukur *Thomson* dianggap alat ukur yang lebih teliti, sehingga untuk mendapatkan koefisien debit koreksi digunakan persamaan berikut:

$$Q_{Th} = C_k \cdot Q_{at} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana,

Q_{Th} : Debit yang melewati alat ukur *Thomson* (m^3/dt)

Q_{at} : Debit yang melewati alat ukur ambang tipis (m^3/dt)

C_k : Koefisien debit koreksi

Tabel 4.3 menjelaskan nilai koefisien debit koreksi yang diperoleh dari perbandingan antara debit alat ukur *Thomson* dengan debit alat ukur ambang tipis (kolom 6). Sementara pada kolom 2 dan kolom 4 merupakan hasil bacaan tinggi air di udik secara pengamatan langsung. Kolom 3 dan kolom 5 merupakan hasil perhitungan debit dengan persamaan 4.3 dan persamaan 4.4.

Tabel 4.3. Koefisien Debit Koreksi Alat Ukur Ambang Tipis

Percobaan ke -	H air (m)	Q (m3/s)	H air (m)	Q (m3/s)	C koreksi ambang tipis terhadap thomson
	Alat Ukur Thomson		Alat Ukur Ambang Tipis		
1	2	3	4	5	6
1.00	0.131	0.0085	0.045	0.0086	0.9921
2.00	0.125	0.0076	0.042	0.0077	0.9849
3.00	0.121	0.0069	0.039	0.0070	0.9926
4.00	0.116	0.0063	0.036	0.0062	1.0205
5.00	0.112	0.0058	0.034	0.0057	1.0178
6.00	0.107	0.0051	0.032	0.0051	1.0076
7.00	0.097	0.0040	0.027	0.0039	1.0283
8.00	0.084	0.0028	0.021	0.0027	1.0270
9.00	0.066	0.0015	0.013	0.0014	1.0903
10.00	0.046	0.0006	0.008	0.0007	0.9465
C koreksi rata-rata					1.0108

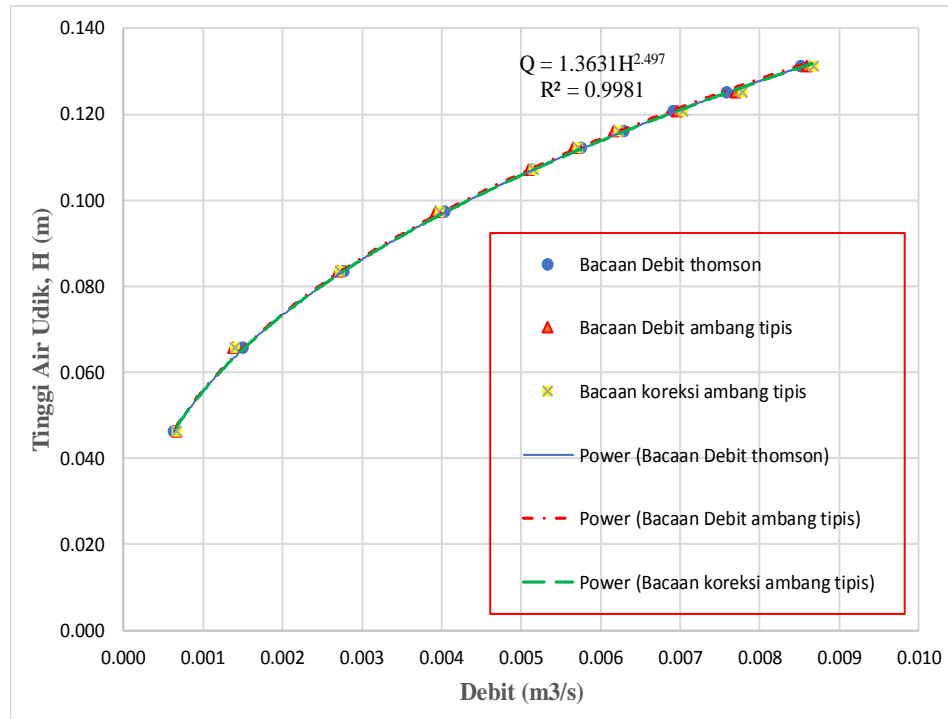
Sumber: Perhitungan

Dari tabel diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Nilai koefisien debit koreksi rata-rata yang diperoleh dari perbandingan debit alat ukur *Thomson* dan alat ukur ambang tipis yakni 1,0108. Sehingga persamaan 4.3 menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} 0,6006 \sqrt{2 \cdot g \cdot B} H^{3/2} \dots\dots\dots(4.5)$$

2. Persamaan 4.5 digunakan kembali untuk menghitung debit ambang tipis dengan perkalian nilai koefisien debit koreksi. Gambar 4.8 merupakan hubungan antara debit dan tinggi air di atas alat ukur ambang tipis yang sudah terkoreksi oleh alat ukur Thomson. Persamaan 4.5 kemudian akan digunakan untuk menghitung debit pada model penelitian selanjutnya yakni ambang linear dan ambang multi *halfcircular*.



Gambar 4.8. Grafik Debit dan Tinggi Air Alat Ukur Ambang Tipis Setelah dilakukan Faktor Koreksi Debit

4.2.2. Alat Ukur Tinggi Air

Tinggi air diukur dengan bantuan mistar yang dipasang pada titik pengamatan. Selain itu juga, tinggi air diukur menggunakan *Ultrasonic Level Water Recorder (ULWR)* yang dipasang di hulu alat ukur thomson sejumlah 2 buah (disusun berdampingan) dan pada hulu alat ukur ambang tipis dipasang 2 buah secara berdampingan. Tabel berikut memperlihatkan hasil bacaan sensor dan bacaan manual kedalaman air.

Tabel 4.4. Koefisien Debit Koreksi Alat Ukur Ambang Tipis

Percobaan Debit ke -	H air, Th (m)		H air, AT (m)	
	M	S	M	S
1	0.131	0.131	0.045	0.048
2	0.125	0.126	0.042	0.045
3	0.121	0.122	0.039	0.042
4	0.116	0.115	0.036	0.040
5	0.112	0.113	0.034	0.036
6	0.107	0.108	0.032	0.036
7	0.097	0.097	0.027	0.030
8	0.084	0.085	0.021	0.024
9	0.066	0.066	0.013	0.016
10	0.046	0.048	0.008	0.012
11	0.029	0.031	0.005	0.009

Sumber: Perhitungan

Keterangan tabel:

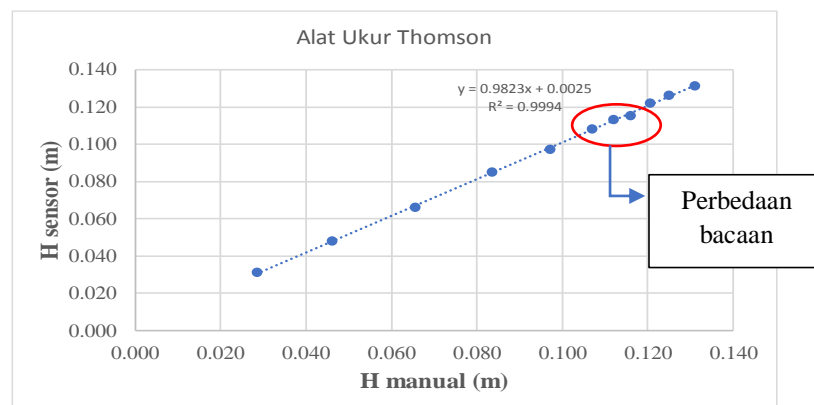
Th (m) : kedalaman air pada alat ukur thomson satuan meter

AT (m) : kedalaman air pada alat ukur ambang tipis satuan meter

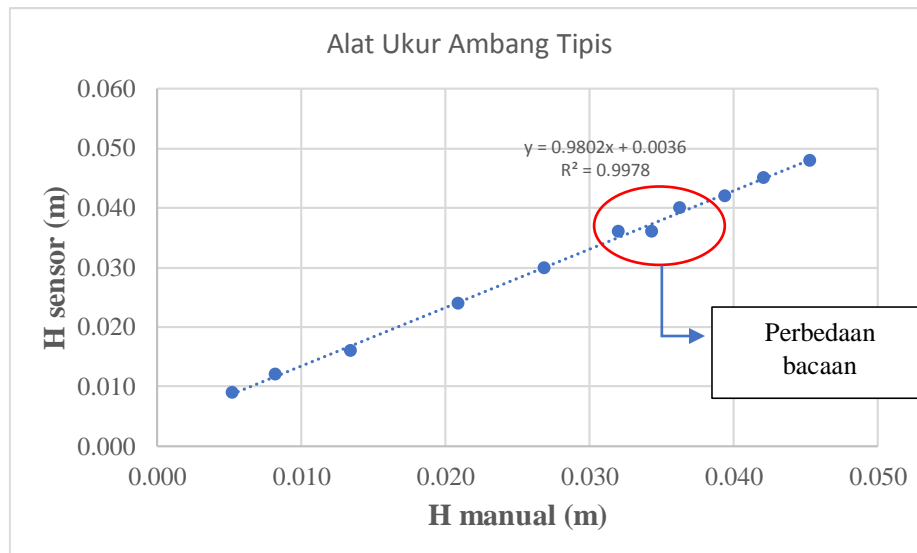
M : bacaan manual (menggunakan mistar)

S : bacaan sensor (*ULWR*)

Data hasil pengamatan pada tabel 4.4 kemudian dibuatkan grafik hubungan antara tinggi muka air di udik untuk masing-masing alat ukur hasil bacaan sensor dan bacaan manual.



Gambar 4.9. Grafik H Manual dan H Sensor Alat Ukur Thomson



Gambar 4.10. Grafik H Manual dan H Sensor Alat Ukur Ambang Tipis

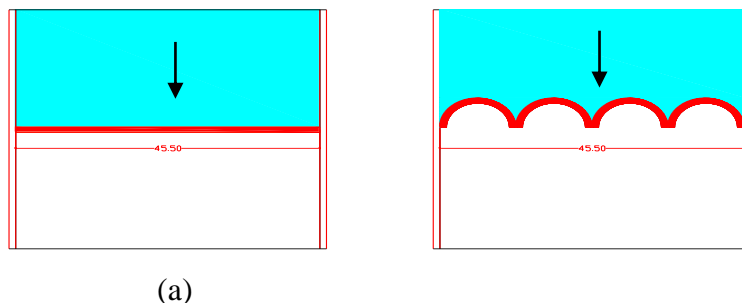
Gambar 4.9 dan gambar 4.10 menjelaskan hubungan antara pengukuran kedalaman air secara manual dan menggunakan sensor. Hubungan kedua variabel tersebut dinyatakan dalam persamaan garis regresi linier. Nilai R^2 pada kedua gambar menunjukkan nilai 0,9994 dan 0,9978. Hal ini menandakan bahwa 99% hasil bacaan manual maupun bacaan sensor memiliki kesamaan nilai. Dengan tingkat keakuratan lebih dari 90% maka alat ukur *ULWR* selanjutnya akan digunakan dalam pengamatan semua model penelitian.

Hasil kalibrasi alat ukur debit dan alat ukur kedalaman air menunjukkan bahwa alat ukur debit ambang tipis memenuhi syarat untuk digunakan pada pengukuran debit model penelitian dengan tingkat keakuratan mencapai 90%. Sementara untuk alat ukur kedalaman air yakni *ULWR* juga memenuhi syarat untuk digunakan sebagaimana terlihat dalam perbandingan grafik hubungan antara bacaan sensor dan bacaan manual (gambar 4.9 dan gambar 4.10) menggunakan mistar dengan tingkat keakuratan sebesar 99%. Untuk selanjutnya model penelitian akan menggunakan kedua alat tersebut untuk pengukuran.

4.3. Pembuatan Model

Pemodelan pelimpah ambang linear dan pelimpah ambang multi *halfcircular* menggunakan bahan yang berbeda. Untuk pelimpah ambang linear dibuat dari

bahan akrilik dengan ketebalan 5 mm. sementara untuk pelimpah ambang multi *halfcircular* menggunakan bahan pipa pvc diameter 4 inch. Bagian ujung ambang diruncingkan serupa dengan bentuk puncak ambang tajam. Layout pelimpah yang diletakkan di dalam saluran *flume* tampak seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.11. Rencana Desain Pelimpah (a) Ambang Linear B = 45,5 Cm, (a) Ambang Multi *Halfcircular* Diameter 11,4 Cm Berjumlah 4 Buah (Desain Peneliti)

4.4. Skenario Uji Model Pelimpah Ambang

Uji model penelitian dilakukan dengan simulasi pada dua jenis geometri ambang yakni ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Terdapat 12 model seri yang akan diteliti. Seperti dijelaskan pada tabel dibawah ini:

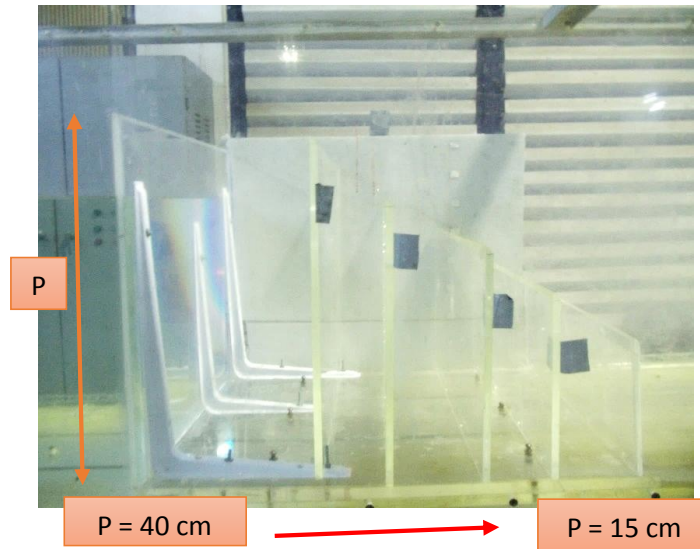
Tabel 4.5. Skenario untuk Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi *Halfcircular*

No	Tipe Geometri Ambang	Lebar Ambang (cm)	Tinggi Ambang (cm)	Dia. (cm)	Jumlah	Ket
1	<i>Linear</i>	45,5	40			Model Seri 1
2	<i>Linear</i>	45,5	35			Model Seri 2
3	<i>Linear</i>	45,5	30			Model Seri 3
4	<i>Linear</i>	45,5	25			Model Seri 4
5	<i>Linear</i>	45,5	20			Model Seri 5
6	<i>Linear</i>	45,5	15			Model Seri 6
7	<i>Multi Halfcircular</i>		40	11,4	4	Model Seri 7
8	<i>Multi Halfcircular</i>		35	11,4	4	Model Seri 8
9	<i>Multi Halfcircular</i>		30	11,4	4	Model Seri 9
10	<i>Multi Halfcircular</i>		25	11,4	4	Model Seri 10
11	<i>Multi Halfcircular</i>		20	11,4	4	Model Seri 11
12	<i>Multi Halfcircular</i>		15	11,4	4	Model Seri 12

(*sumber, data penelitian pribadi*)

A. Pelimpah Ambang Linear

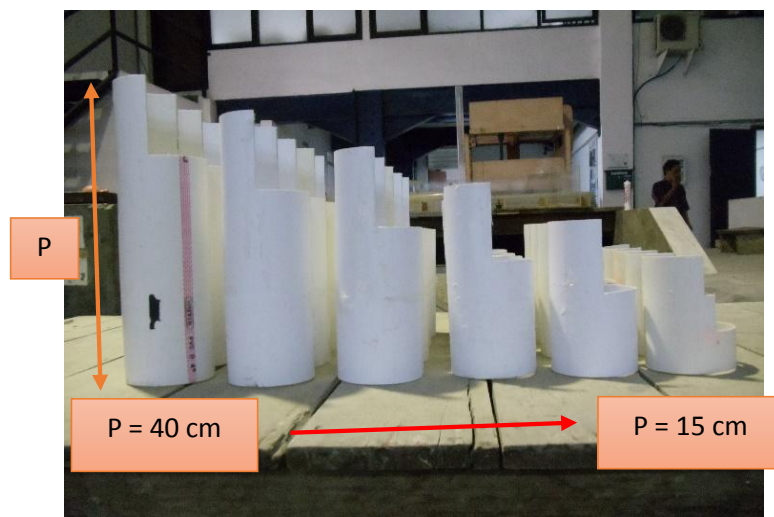
Model penelitian ini terdiri dari 6 model seri, dengan perbedaan karakteristik pada tinggi ambang (P). Foto dokumentasi model penelitian ambang linear sebagai berikut:



Gambar 4.12. Tampak Samping Model Penelitian Ambang Linear, (Desain Peneliti)

B. Pelimpah Ambang Multi *Halfcircular* (N = 4 Buah)

Model penelitian ini terdiri dari 6 model seri, dengan perbedaan karakteristik pada tinggi ambang (P). Foto Dokumentasi model penelitian ambang multi *halfcircular* sebagai berikut :



Gambar 4.13. Tampak Samping Model Penelitian Ambang Multi *Halfcircular*, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.14. Tampak Atas Model Penelitian Ambang Multi *Halfcircular*, (Dokumentasi Peneliti)

4.5. Perhitungan Koefisien Debit pada Model Penelitian

Karakteristik aliran di atas ambang salah satunya dipengaruhi oleh nilai koefisien debit (C_d). Dengan demikian, kondisi aliran pada hulu ambang juga dipengaruhi oleh besaran koefisien debit ini. Sebagai pendekatan untuk penentuan koefisien debit pada model ambang linear dan ambang multi *halfcircular* digunakan persamaan berikut:

$$C_d = \frac{3.Q}{2\sqrt{2.g.B.H^{3/2}}} \dots\dots\dots(4.6)$$

Dimana,

Q : Debit terukur pada alat ukur Ambang tipis (m^3/dt)

C_d : Koefisien debit

H : Tinggi air diatas model ambang (m)

g : Percepatan gravitasi (m/dt^2)

B : Lebar pelimpah (m), untuk ambang linear lebar pelimpah sebesar 0,455 m dan ambang multi *halfcircular* lebar pelimpah sebesar 0,455 m

4.6. Data Pengamatan Model Fisik Hidraulik, Tinggi Air (m) dan Hasil Hitungan Debit Melalui Pelimpah (m^3/s)

Pengambilan data dilakukan pada semua model penelitian dengan variasi debit yang dialiri secara random (acak). Pengamatan yang dilakukan adalah pengukuran tinggi muka air di hulu pada setiap model seri dan ketinggian muka air di hulu pada alat ukur ambang tipis.

Data-data uji model fisik dokumentasi diberikan secara lengkap pada lampiran B.

Hasil pengukuran untuk semua kondisi uji model fisik pada semua model penelitian pelimpah ambang serta hasil perhitungan debit dijelaskan sebagai berikut:

4.6.1. Model Pelimpah Ambang Linear

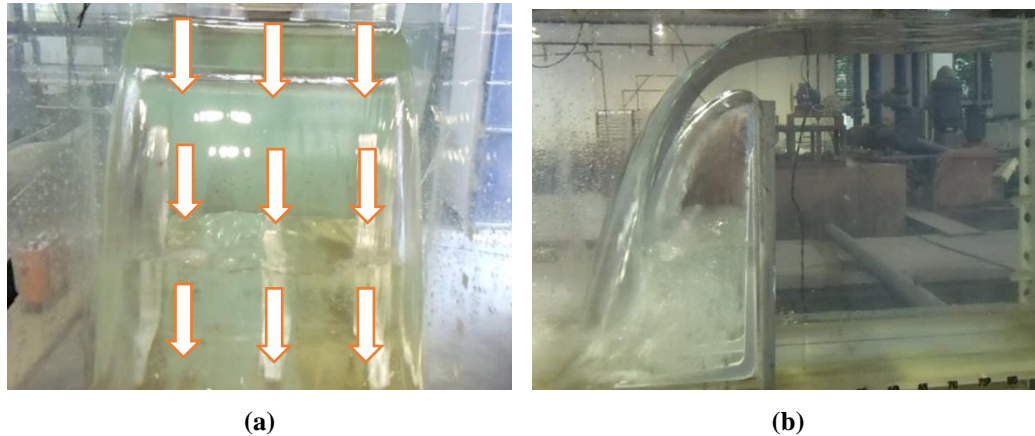
Pada pengujian penelitian ini terdapat 6 model seri yang dilakukan. Perbedaan mendasar dari ke enam model seri tersebut adalah terletak pada tinggi pelimpah ambang. Pada penjelasan masing-masing model seri yakni dari model seri 1 sampai model seri 6, dilengkapi dengan foto dokumentasi debit maksimum dan debit minimum yang melalui pelimpah. Selain itu juga terdapat tabel hasil pengamatan tinggi muka air di udik model seri penelitian dan perhitungan debit yang melewati model pelimpah dengan alat ukur ambang tipis. Gambar grafik hubungan antara tinggi air di udik model penelitian dan debit aliran serta gambar grafik hubungan antara koefisien debit terhadap tinggi air di udik dan tinggi model pelimpah.

A. Model Seri 1, (P = 40 cm)

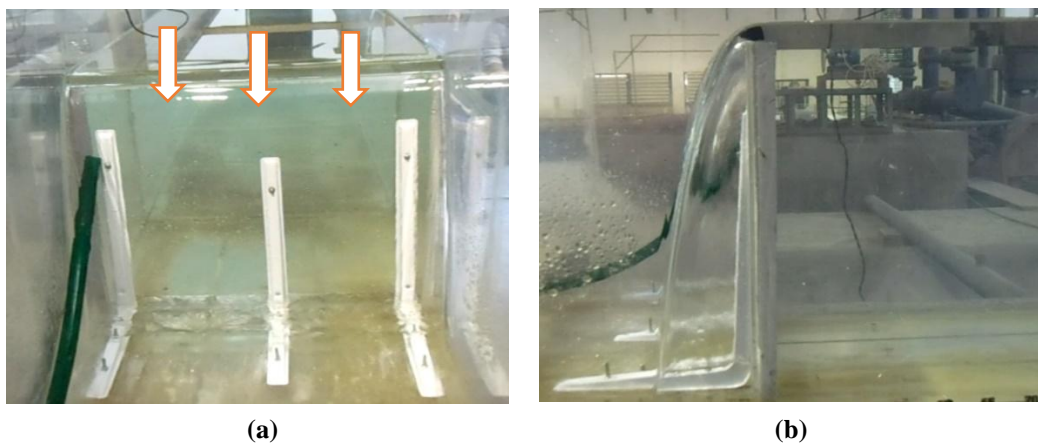
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model dilengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 40 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.15 dan gambar 4.16 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.15. Debit Maksimum a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.16. Debit Minimum a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 40 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.6. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.

- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.6. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 40 \text{ cm}$

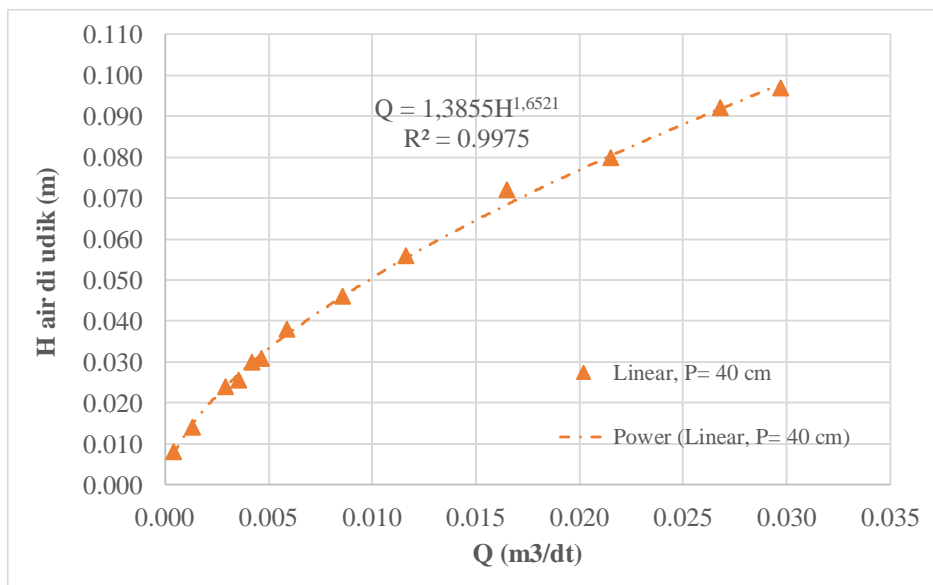
Percobaan ke -	$Q_{\text{ambang tipis}}$ (m^3/dt)	H (m)	H/P	C_d
1	2	3	4	5
1	0.0297	0.0970	0.2425	0.7328
2	0.0268	0.0920	0.2300	0.7148
3	0.0215	0.0800	0.2000	0.7087
4	0.0116	0.0560	0.1400	0.6526
5	0.0086	0.0460	0.1150	0.6487
6	0.0059	0.0380	0.0950	0.5926
7	0.0042	0.0300	0.0750	0.6045
8	0.0047	0.0310	0.0775	0.6382
9	0.0036	0.0257	0.0642	0.6444
10	0.0029	0.0239	0.0598	0.5921
11	0.0013	0.0140	0.0350	0.5998
$C_{d \text{ rata-rata}}$				0.6481

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.6, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5921 sampai 0,7328 dengan nilai rata-rata 0,6481. Nilai koefisien debit tersebut disajikan dalam tabel 4.6. nilai koefisien debit rata-rata dari hasil pengukuran pada tabel tersebut sesuai dengan kisaran teoritis $b/B = 1$ (gambar 4.6), sehingga hasil pengujian ini dirasa cukup baik.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.6 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.17

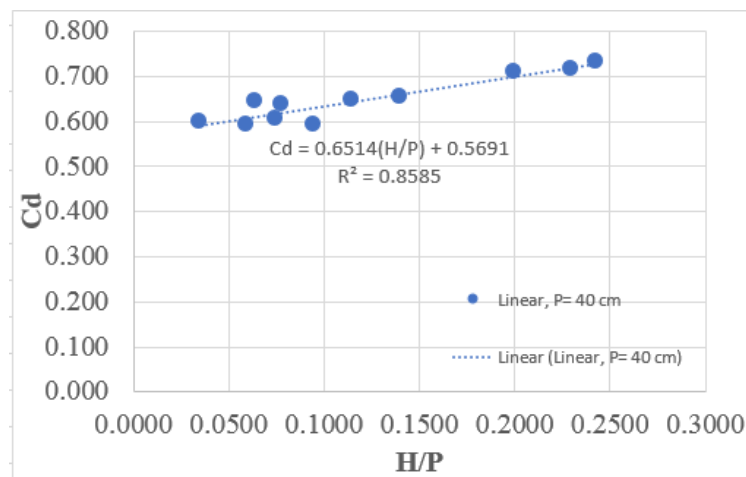


Gambar 4.17. Grafik Lengkung Debit, P = 40 cm

Berdasarkan gambar 4.17, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit sebesar 0,9975. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,75%, sementara sisanya 0,25% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri dengan ketinggian pelimpah ambang 40 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0297 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0013 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan 1,6521. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.18 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah (H/P).



Gambar 4.18. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 40$ cm

Berdasarkan gambar 4.18, dapat dijelaskan bahwa:

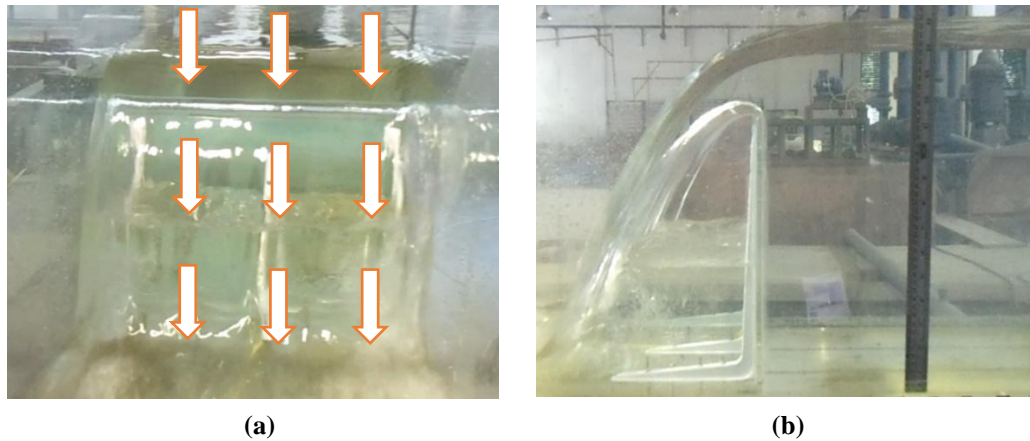
1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu ambang semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.18 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

B. Model Seri 2, ($P = 35$ cm)

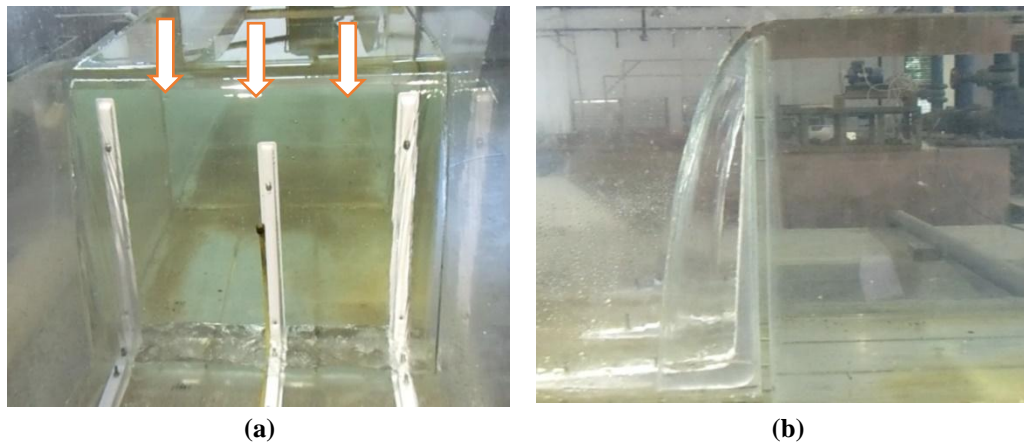
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model di lengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah Ambang = 35 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.19 dan gambar 4.20 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.19. Debit Maksimum $P = 35$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.20. Debit Minimum $P = 35$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 35 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.7. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.7. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 35 cm

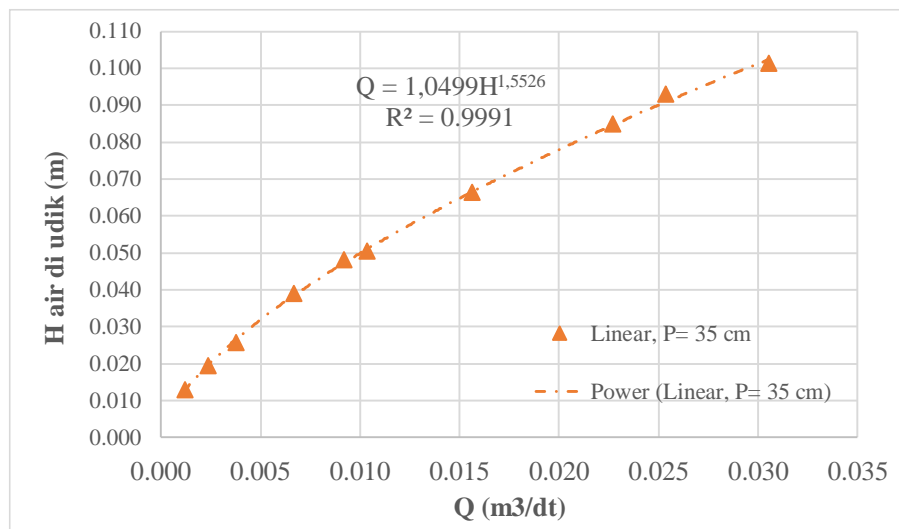
Percobaan ke -	Q _{ambang tipis} (m ³ /dt)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.0306	0.1012	0.2891	0.7068
2	0.0254	0.0929	0.2654	0.6674
3	0.0227	0.0850	0.2429	0.6825
4	0.0156	0.0663	0.1895	0.6807
5	0.0104	0.0503	0.1438	0.6838
6	0.0092	0.0480	0.1371	0.6496
7	0.0067	0.0390	0.1114	0.6448
8	0.0024	0.0193	0.0552	0.6531
9	0.0012	0.0130	0.0371	0.5945
C _{d rata-rata}				0.6626

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.7, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5945 sampai 0,7068 dengan nilai rata-rata 0,6626. Nilai koefisien debit rata-rata dari hasil pengukuran pada tabel tersebut sesuai dengan kisaran teoritis $b/B = 1$ (gambar 4.6), sehingga hasil pengujian ini dirasa cukup baik.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.7 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.21

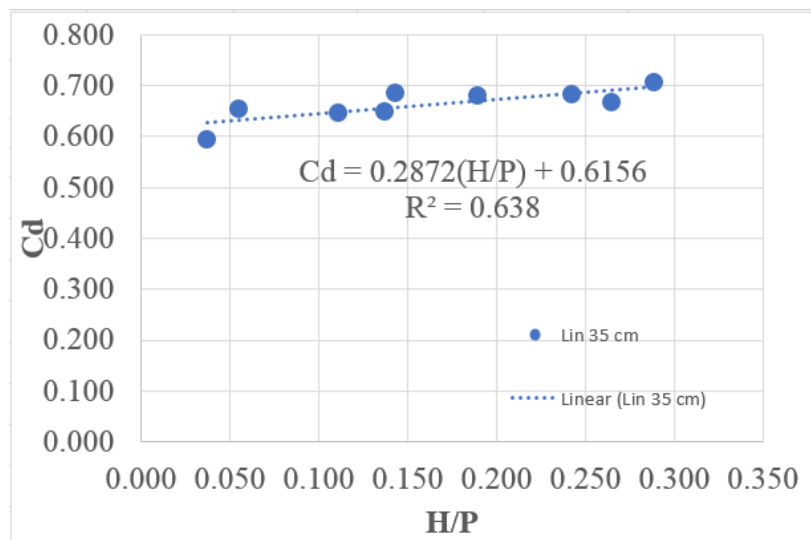


Gambar 4.21. Grafik Lengkung Debit, P = 35 cm

Berdasarkan gambar 4.21, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9991. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,91%, sementara sisanya 0,09% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 35 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0306 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,1012 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,5526. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.22 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.22. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 35$ cm

Berdasarkan gambar 4.22, dapat dijelaskan bahwa:

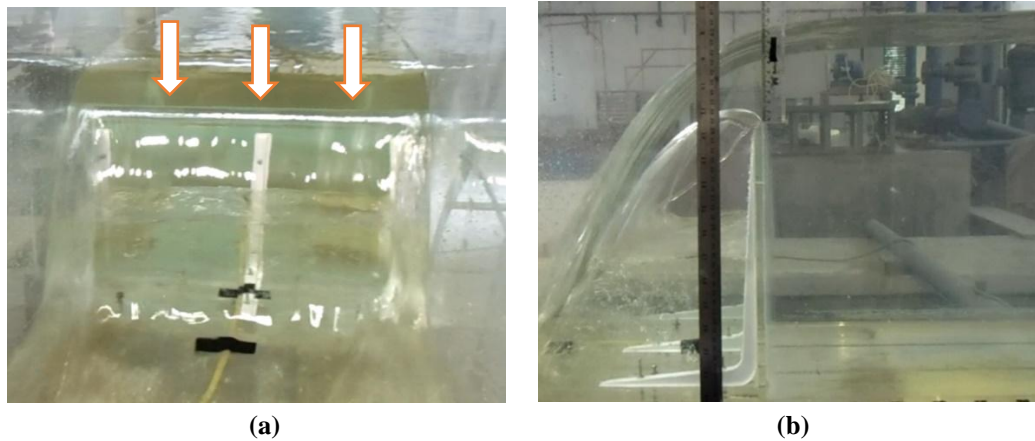
1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.22 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

C. Model Seri 3, ($P = 30$ cm)

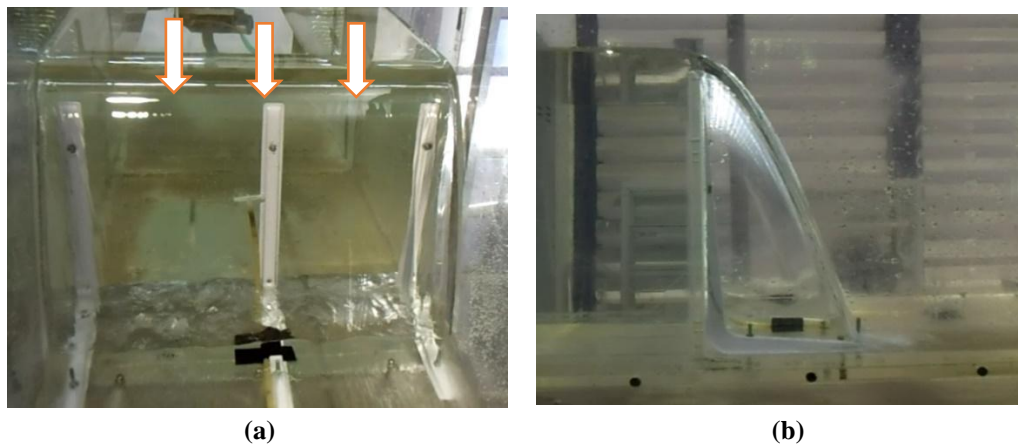
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model di lengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah Ambang = 30 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.23 dan gambar 4.24 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.23. Debit Maksimum $P = 30$ cm .a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.24. Debit Minimum $P = 30$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 30 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.8. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.8. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 30 cm

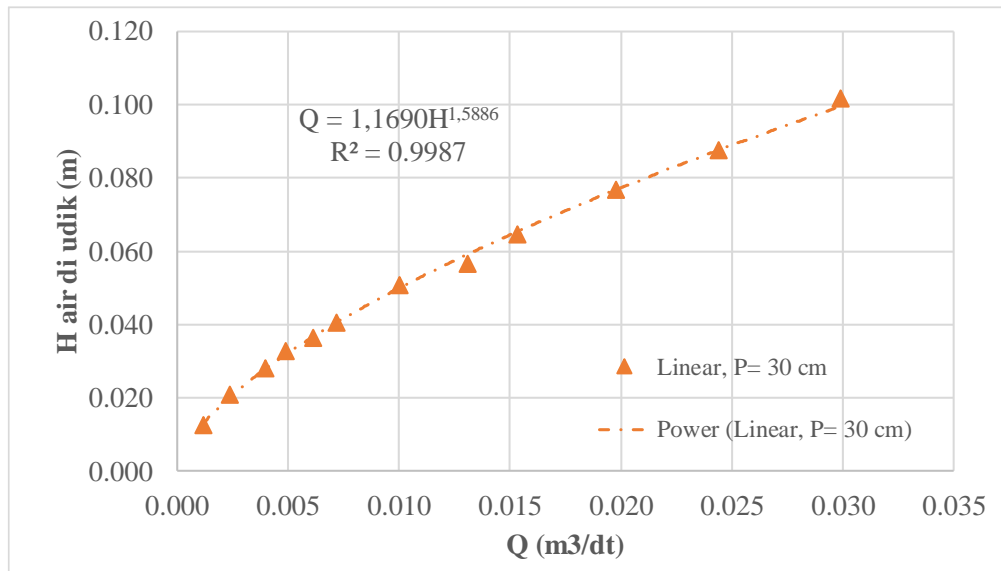
Percobaan ke -	Q _{ambang tipis} (m ³ /dt)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.0299	0.1017	0.3389	0.6869
2	0.0244	0.0877	0.2922	0.7011
3	0.0198	0.0767	0.2556	0.6948
4	0.0153	0.0647	0.2157	0.6940
5	0.0131	0.0567	0.1889	0.7232
6	0.0100	0.0507	0.1689	0.6553
7	0.0072	0.0404	0.1347	0.6605
8	0.0061	0.0364	0.1212	0.6603
9	0.0049	0.0327	0.1089	0.6198
10	0.0040	0.0281	0.0937	0.6314
11	0.0024	0.0210	0.0700	0.5815
12	0.0012	0.0127	0.0422	0.6181
C _{d rata-rata}				0.6606

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.8, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5815 sampai 0,7232 dengan nilai rata-rata 0,6606. Nilai koefisien debit rata-rata dari hasil pengukuran pada tabel tersebut sesuai dengan kisaran teoritis $b/B = 1$ (gambar 4.6), sehingga hasil pengujian ini dirasa cukup baik.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.8 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.25

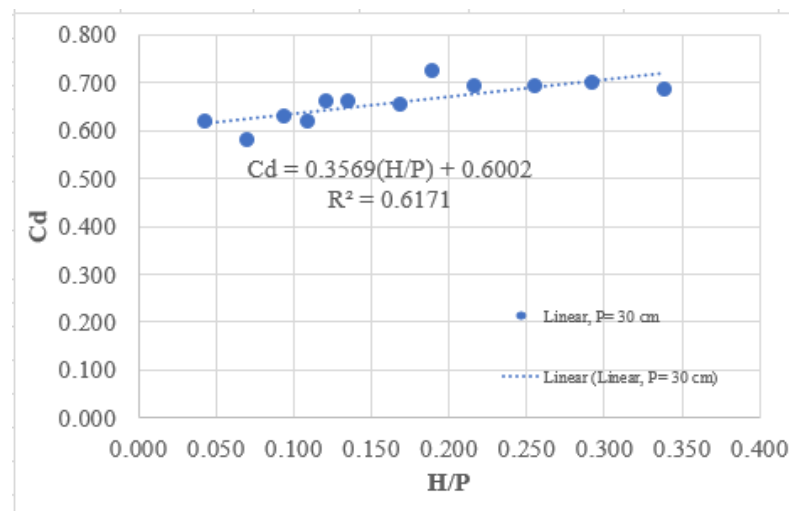


Gambar 4.25. Grafik Lengkung Debit, P = 30 cm

Berdasarkan gambar 4.25, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9987. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,87%, sementara sisanya 0,13% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 30 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0299 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,1017 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,5886. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.26 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.26. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 30$ cm

Berdasarkan gambar 4.26, dapat dijelaskan bahwa:

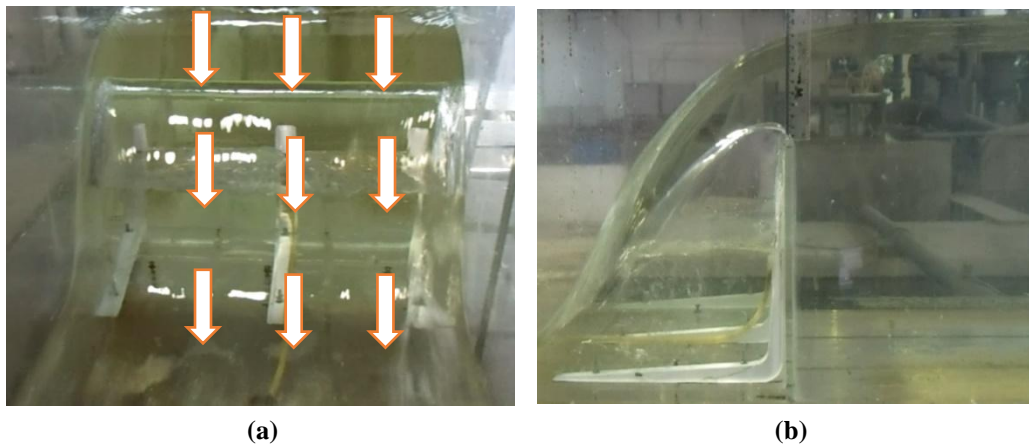
1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.26 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

D. Model Seri 4, ($P = 25$ cm)

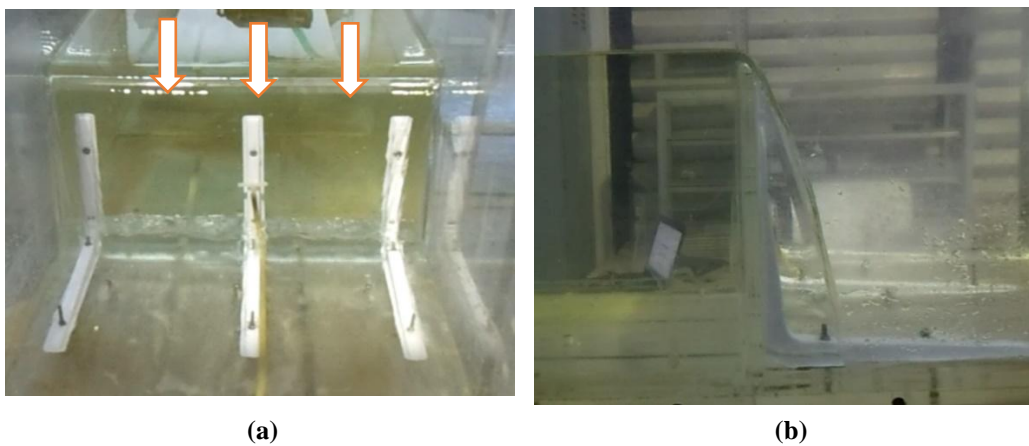
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model di lengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 25 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.27 dan gambar 4.28 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.27. Debit Maksimum $P = 25$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.28. Debit Minimum $P = 25$ cm. a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 25 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.9. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.9. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 25 \text{ cm}$

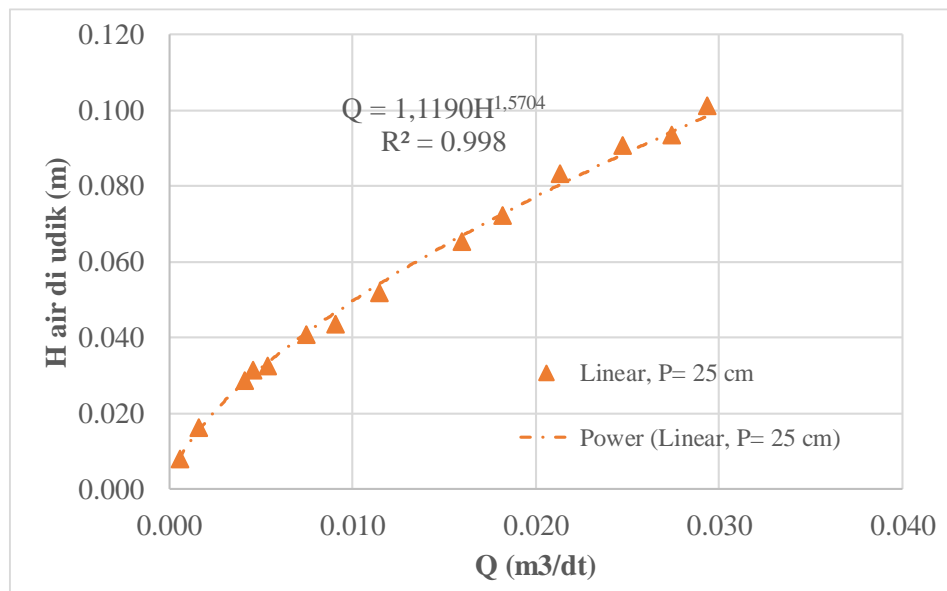
Percobaan ke -	$Q_{\text{ambang tipis}}$ (m^3/dt)	H (m)	H/P	C_d
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0.0293	0.1012	0.4049	0.6783
2	0.0274	0.0935	0.3739	0.7145
3	0.0248	0.0908	0.3631	0.6743
4	0.0213	0.0832	0.3328	0.6621
5	0.0182	0.0722	0.2887	0.6991
6	0.0160	0.0654	0.2615	0.7130
7	0.0075	0.0409	0.1636	0.6729
8	0.0042	0.0288	0.1153	0.6313
9	0.0046	0.0314	0.1255	0.6146
10	0.0016	0.0162	0.0649	0.5836
11	0.0006	0.0079	0.0316	0.6077
$C_{d \text{ rata-rata}}$				0.6592

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.9, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5836 sampai 0,7145 dengan nilai rata-rata 0,6592. Nilai koefisien debit rata-rata dari hasil pengukuran pada tabel tersebut sesuai dengan kisaran teoritis $b/B = 1$ (gambar 4.6), sehingga hasil pengujian ini dirasa cukup baik.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.9 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.29

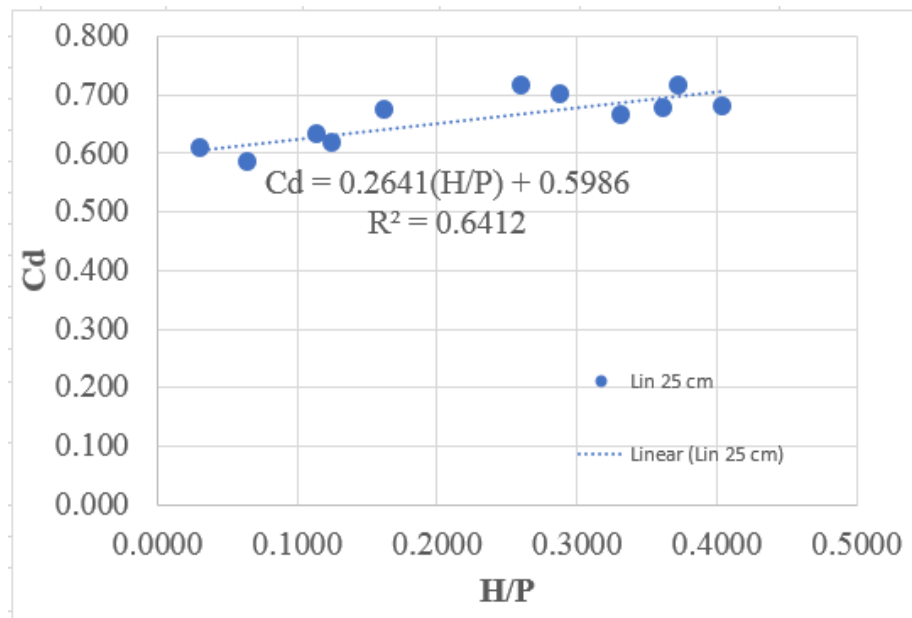


Gambar 4.29. Grafik Lengkung Debit, P = 25 cm

Berdasarkan gambar 4.29, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,998. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,80%, sementara sisanya 0,20% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 25 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0293 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,1012 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,5704. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.30 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.30. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 25$ cm

Berdasarkan gambar 4.30, dapat dijelaskan bahwa:

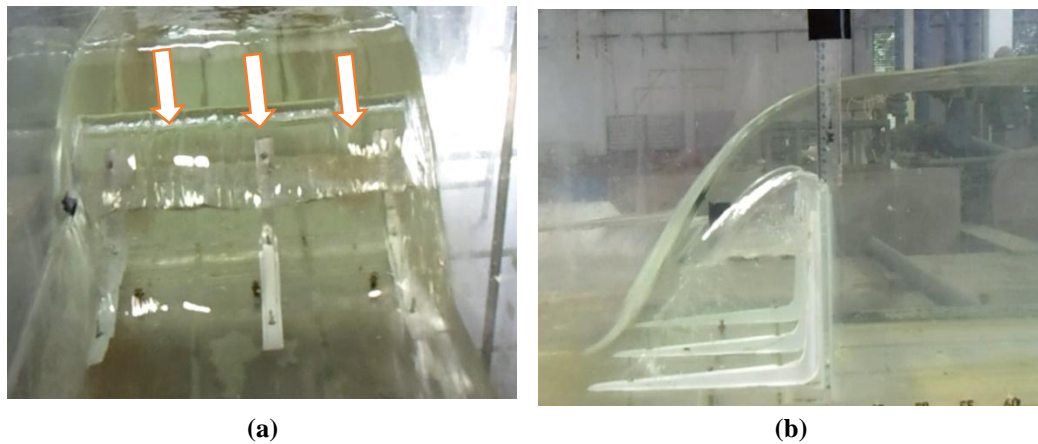
1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.30 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

E. Model Seri 5, ($P = 20$ cm)

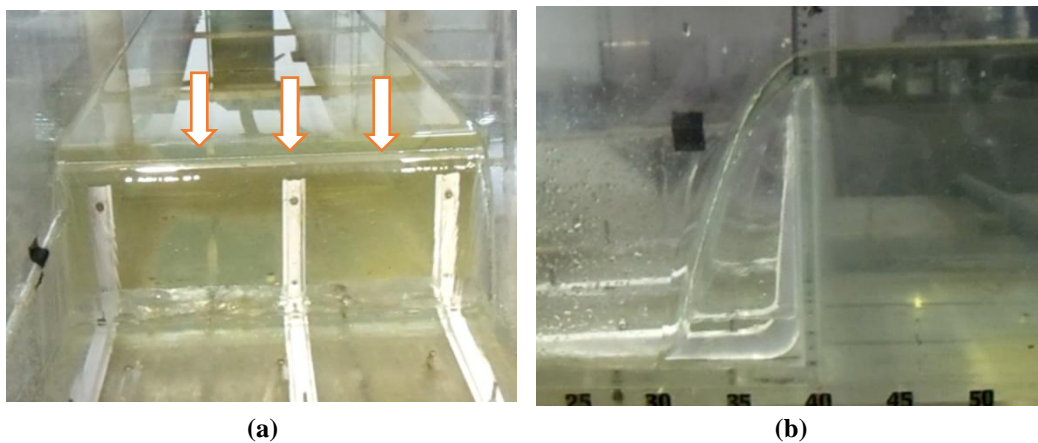
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model di lengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 20 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.31 dan gambar 4.32 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.31. Debit Maksimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.32. Debit Minimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 20 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.10. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.10. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di atas model penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 20 cm

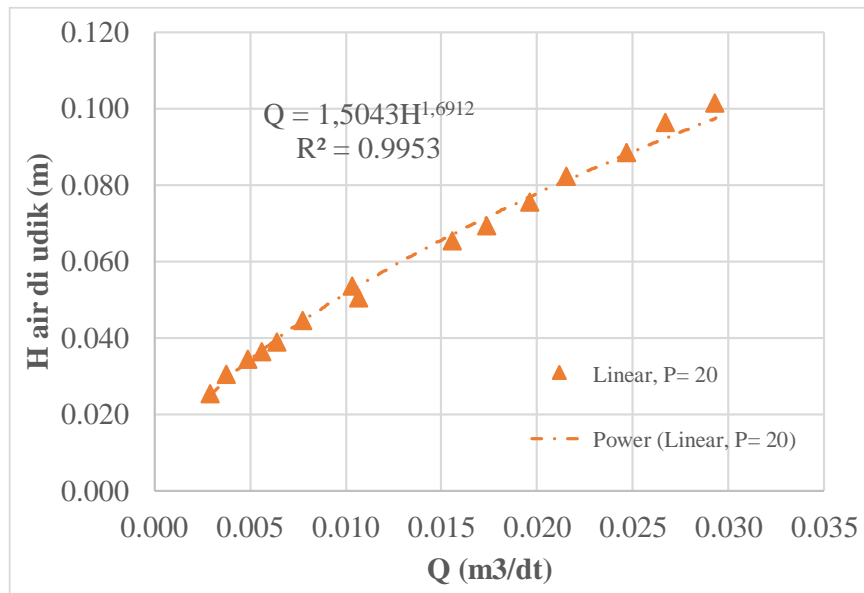
Percobaan ke -	Q_{ambang tipis} (m³/dt)	H (m)	H/P	C_d
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0.0293	0.1013	0.5067	0.6773
2	0.0267	0.0963	0.4817	0.6651
3	0.0247	0.0883	0.4417	0.7012
4	0.0215	0.0823	0.4117	0.6787
5	0.0156	0.0653	0.3267	0.6964
6	0.0104	0.0533	0.2667	0.6270
7	0.0077	0.0443	0.2217	0.6182
8	0.0064	0.0387	0.1933	0.6276
9	0.0056	0.0363	0.1817	0.6069
10	0.0049	0.0343	0.1717	0.5752
11	0.0038	0.0303	0.1517	0.5320
12	0.0029	0.0253	0.1267	0.5425
C_{d rata-rata}				0.6290

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.10, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5320 sampai 0,7012 dengan nilai rata-rata 0,6290. Nilai koefisien debit rata-rata dari hasil pengukuran pada tabel tersebut sesuai dengan kisaran teoritis $b/B = 1$ (gambar 4.6), sehingga hasil pengujian ini dirasa cukup baik.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.9 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.33.

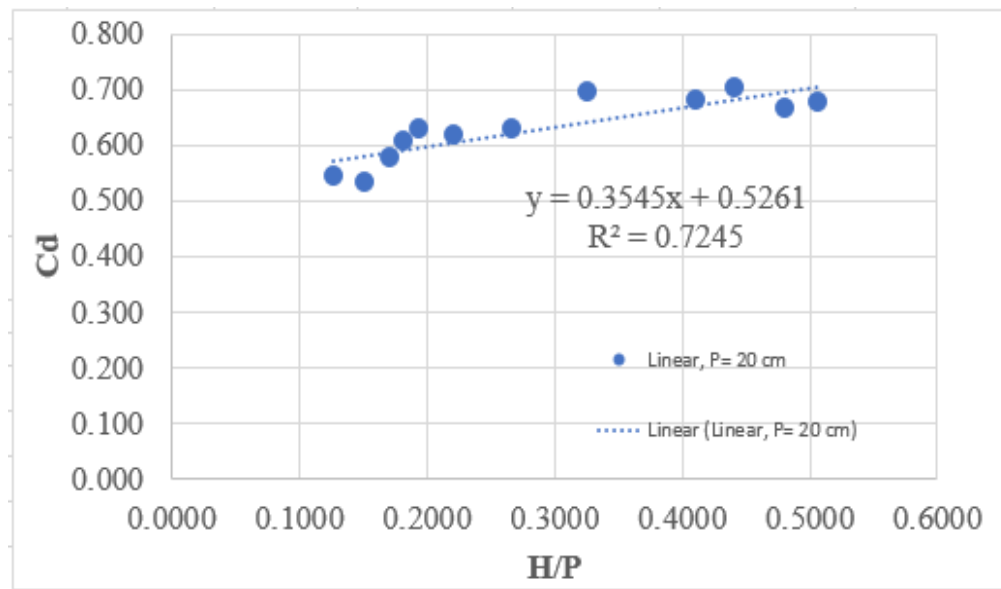


Gambar 4.33. Grafik Lengkung Debit, P = 20 cm

Berdasarkan gambar 4.33, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9953. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,53%, sementara sisanya 0,47% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 25 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0293 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,1013 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,6912. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.34 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.34. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 20$ cm

Berdasarkan gambar 4.34, dapat dijelaskan bahwa:

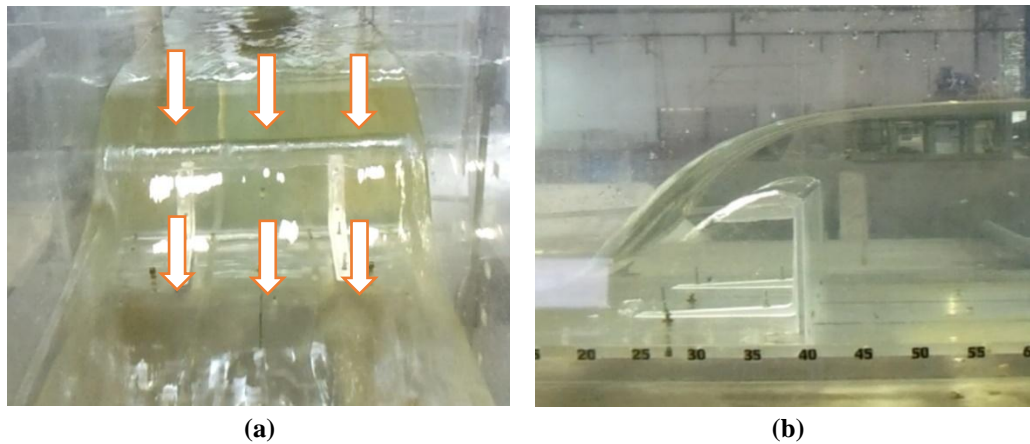
1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.34 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

F. Model Seri 6, ($P = 15$ cm)

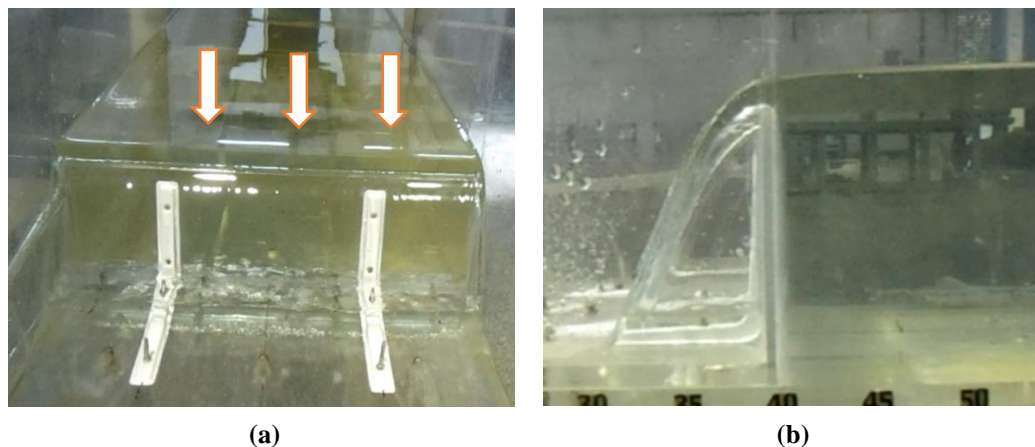
Model seri ini terbuat dari bahan akrilik yang bagian depan model di lengkapi dengan siku berbahan besi yang berfungsi untuk menahan tekanan air. Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 15 cm
- ✓ Lebar pelimpah = 45,5 cm

Gambar 4.35 dan gambar 4.36 memperlihatkan bahwa dari debit maksimum sampai dengan debit minimum, pola aliran di atas pelimpah sejajar dengan arah aliran air



Gambar 4.35. Debit Maksimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.36. Debit Minimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 15 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.11. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.11. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di atas model penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 15 cm

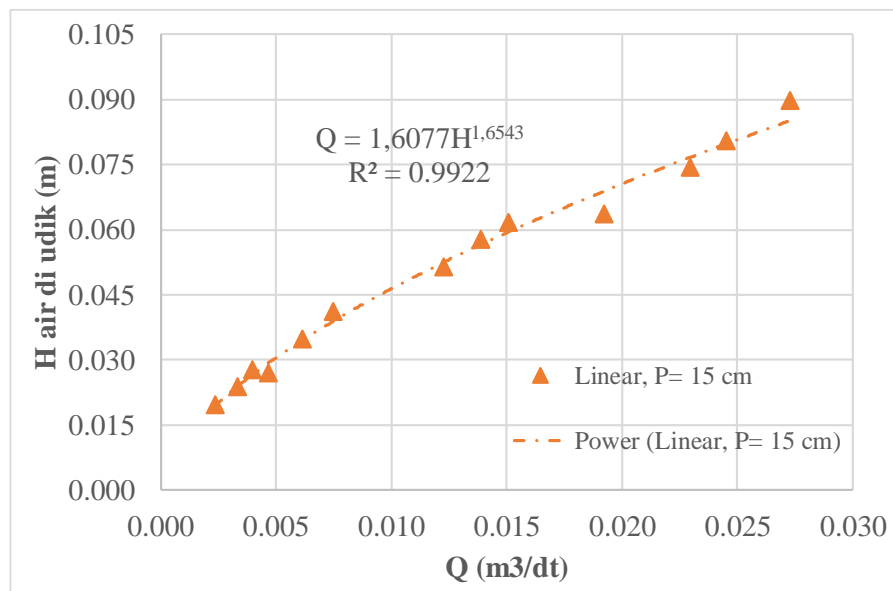
Percobaan ke -	Q_{ambang tipis} (m³/dt)	H (m)	H/P	C_d
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0.0273	0.0897	0.5978	0.7569
2	0.0245	0.0805	0.5364	0.7999
3	0.0151	0.0617	0.4111	0.7323
4	0.0139	0.0577	0.3844	0.7475
5	0.0075	0.0410	0.2733	0.6704
6	0.0061	0.0347	0.2311	0.7095
7	0.0040	0.0277	0.1844	0.6463
8	0.0033	0.0237	0.1578	0.6846
9	0.0024	0.0197	0.1311	0.6366
C_{d rata-rata}				0.7093

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.11, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,6366 sampai 0,7999 dengan nilai rata-rata 0,7093. Nilai koefisien pada tinggi pelimpah ini berbeda dengan koefisien debit pada 5 model pelimpah sebelumnya. Memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit teoritis (Gambar 4.6)

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.11 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.37

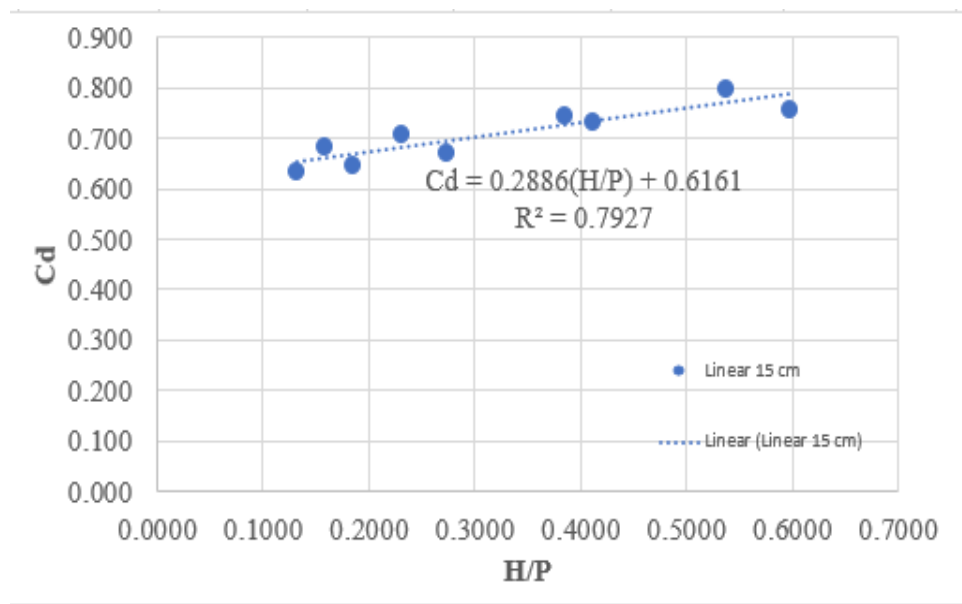


Gambar 4.37. Grafik Lengkung Debit, P = 15 cm

Berdasarkan gambar 4.37, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R² dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9922. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,22%, sementara sisanya 0,78% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 25 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0273 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0897 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,6543. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.38 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.38. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 15$ cm

Berdasarkan gambar 4.38, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.38 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

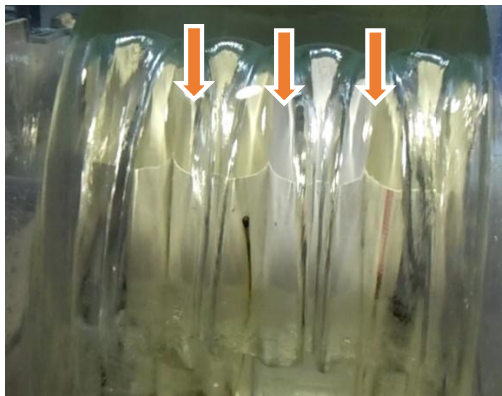
4.6.2. Model Pelimpah Ambang Multi *Halfcircular*

Pada penelitian ini terdapat 6 model seri yang dilakukan. perbedaan mendasar dari ke enam model seri tersebut adalah terletak pada tinggi pelimpah ambang dan bentuk alinyemen ambang yang berbeda dari model sebelumnya. Perhitungan koefisien debit pada model ini menggunakan lebar efektif (B_{efektif}) sebesar 45,5 cm.

A. Model Seri 7, (P = 40 cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 40 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



(a)

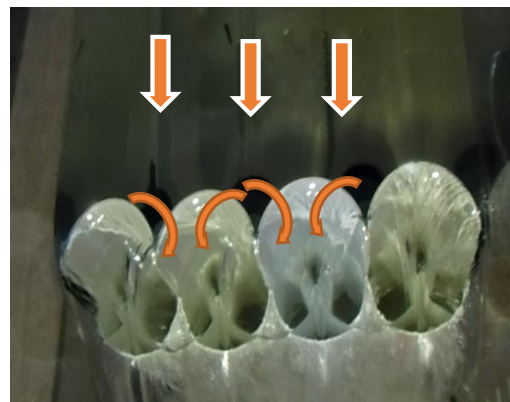


(b)

Gambar 4.39. Debit Maksimum P = 40 cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



(a)



(b)

Gambar 4.40. Debit Minimum P = 40 cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 40 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.12. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.12. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m^3/dt), $P = 40 \text{ cm}$

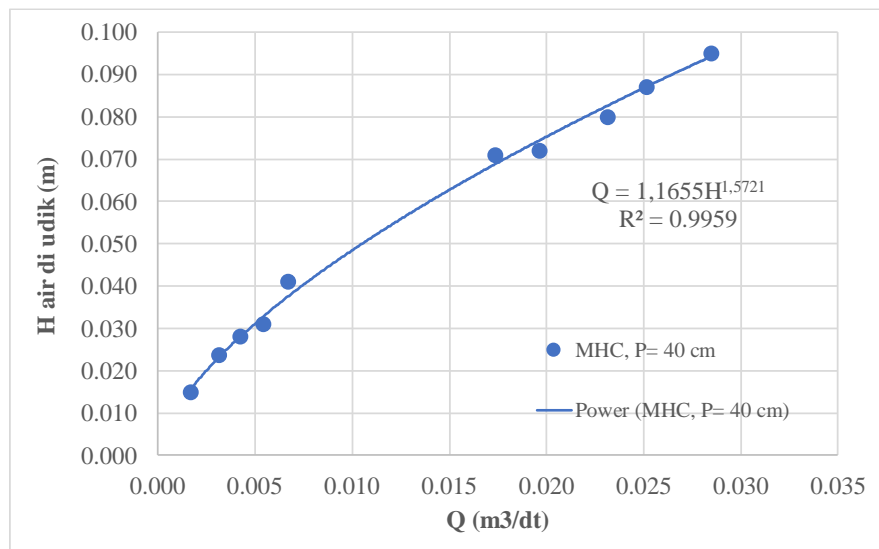
Percobaan ke -	$Q_{\text{ambang tipis}}$ (m^3/dt)	H (m)	H/P	C_d
1	2	3	4	5
1	0.028	0.095	0.238	0.72395
2	0.025	0.087	0.218	0.72891
3	0.023	0.080	0.200	0.76016
4	0.020	0.072	0.180	0.75577
5	0.017	0.071	0.178	0.68160
6	0.004	0.028	0.070	0.67010
7	0.003	0.024	0.059	0.64197
8	0.002	0.015	0.038	0.67005
9	0.001	0.010	0.025	0.57208
$C_{d \text{ rata-rata}}$				0.6894

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.12, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,5721 sampai 0,7602 dengan nilai rata-rata 0,6894.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.12 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.41

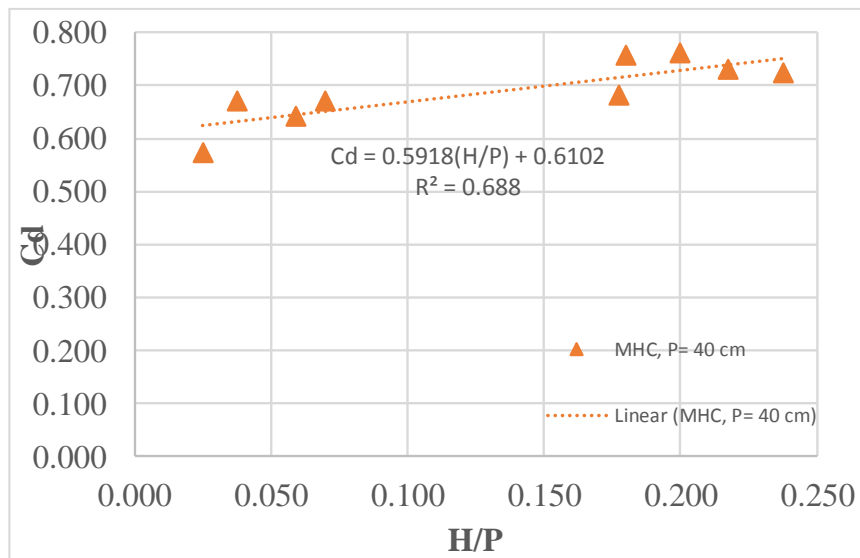


Gambar 4.41. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi *Halfcircular*, P = 40 cm

Berdasarkan gambar 4.41, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9959. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,59%, sementara sisanya 0,41% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 40 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,028 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,095 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,5721. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.42 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.42. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 40$ cm

Berdasarkan gambar 4.42, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.42 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar juga mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

B. Model Seri 8, ($P = 35$ cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 35 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



Gambar 4.43. Debit Maksimum $P = 35$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.44. Debit Minimum $P = 35$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 35 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.13. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.13. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 35 cm

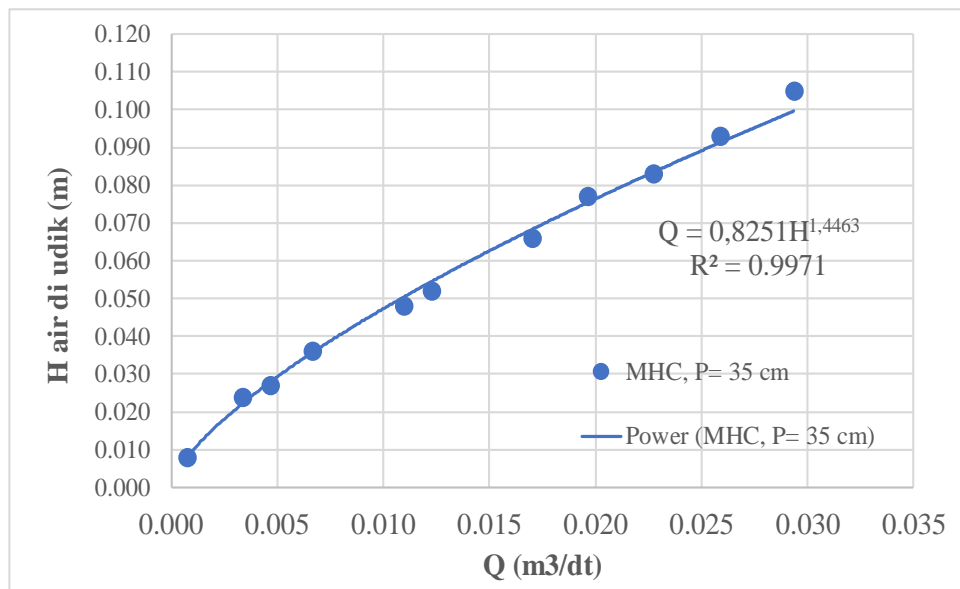
Percobaan ke -	Q_{ambang tipis} (m³/dt)	H (m)	H/P	C_d
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0.029	0.105	0.300	0.64182
2	0.026	0.093	0.266	0.67898
3	0.023	0.083	0.237	0.70695
4	0.017	0.066	0.189	0.74783
5	0.012	0.052	0.149	0.76914
6	0.011	0.048	0.137	0.77758
7	0.005	0.027	0.077	0.78483
8	0.001	0.008	0.023	0.79951
C_{d rata-rata}				0.7383

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.13, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,642 sampai 0,800 dengan nilai rata-rata 0,7383.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.13 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.45

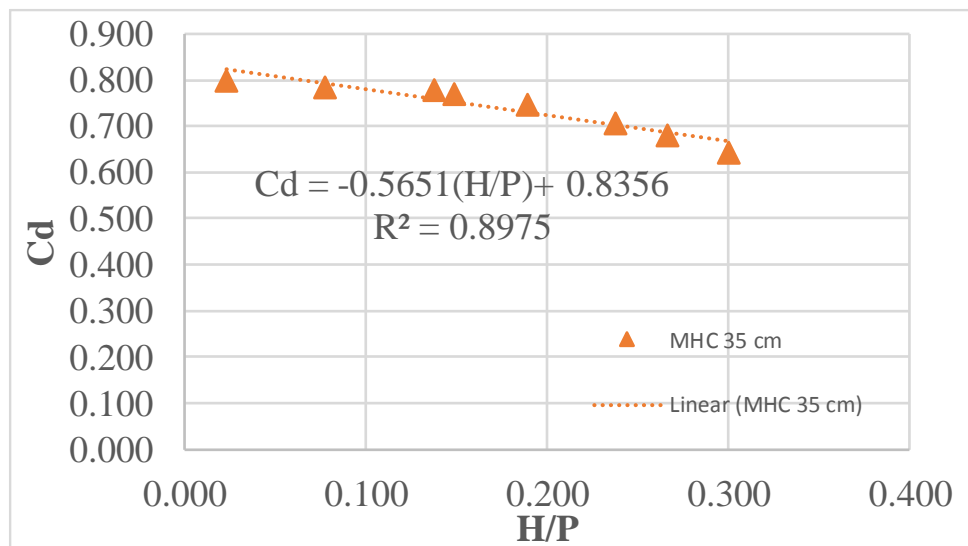


Gambar 4.45. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi *Halfcircular*, P = 35 cm

Berdasarkan gambar 4.45, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9971. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,71%, sementara sisanya 0,29% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 35 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,029 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,105 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,4463. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih kecil dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.46 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.46. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 35$ cm

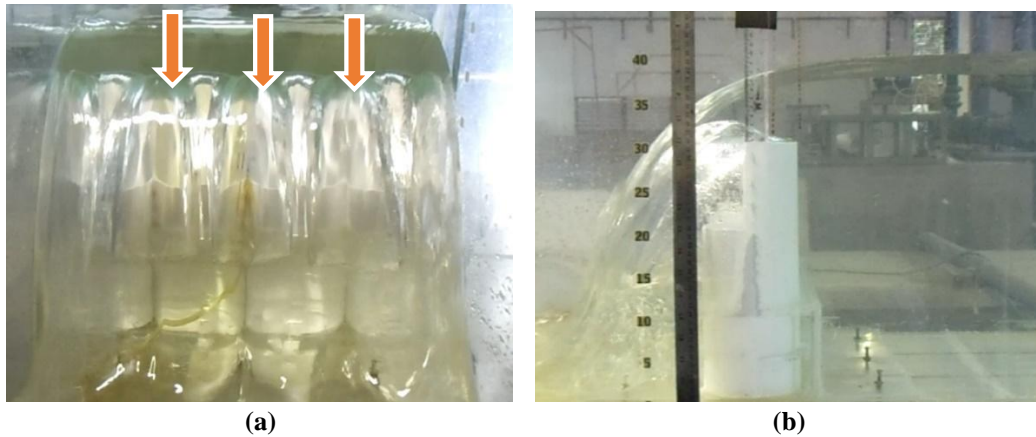
Berdasarkan gambar 4.46, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit berbanding terbalik dengan tinggi muka air di hulu. Kedalaman air di udik semakin rendah, maka nilai koefisien debit semakin besar.
2. Dari grafik 4.46 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin kecil mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar.

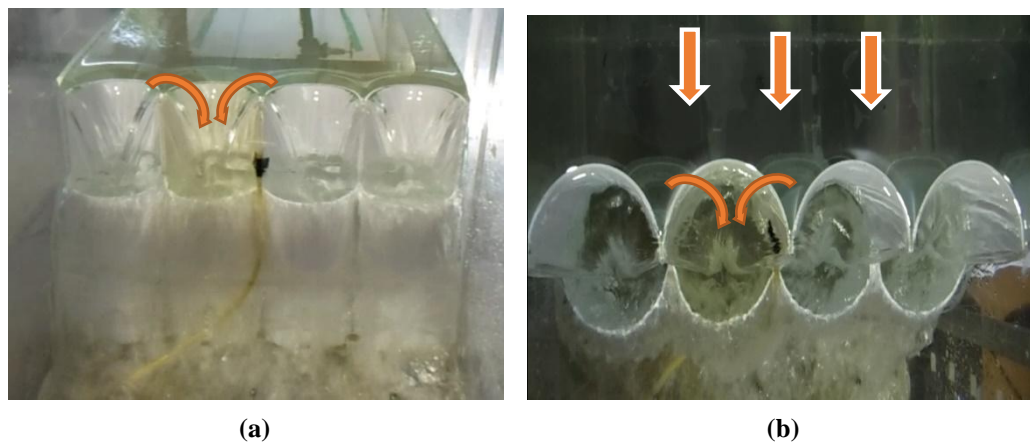
C. Model Seri 9, ($P = 30$ cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 30 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



Gambar 4.47. Debit Maksimum $P = 30$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.48. Debit Minimum $P = 30$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 30 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.14. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.14. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 30 cm

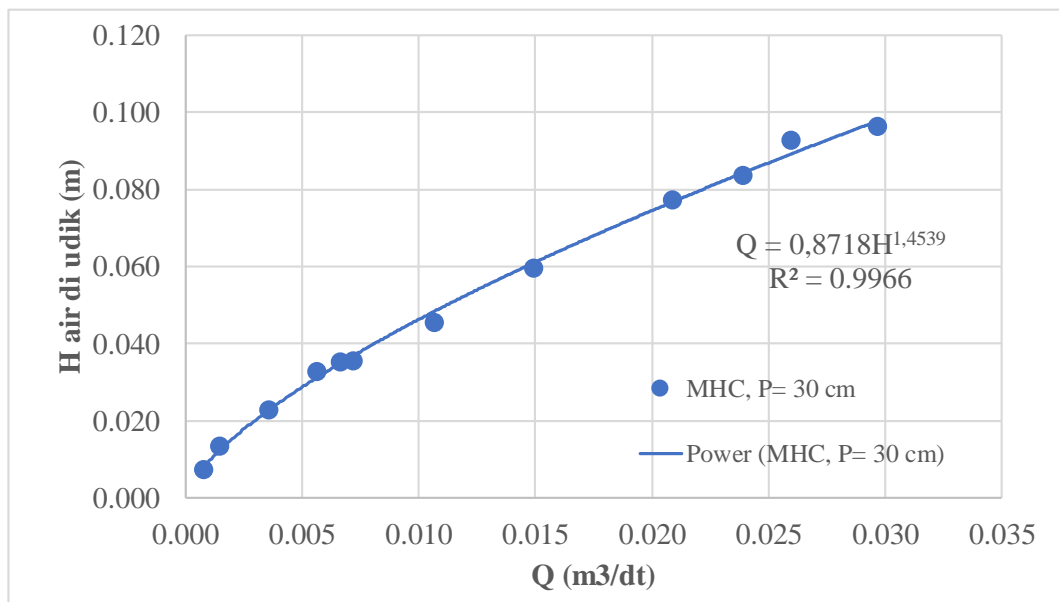
Percobaan ke -	Q _{ambang tipis} (m ³ /dt)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.0297	0.0965	0.2756	0.73743
2	0.0260	0.0928	0.2652	0.68408
3	0.0239	0.0837	0.2390	0.73540
4	0.0209	0.0773	0.2210	0.72383
5	0.0149	0.0597	0.1705	0.76206
6	0.0107	0.0457	0.1305	0.81432
7	0.0072	0.0357	0.1019	0.79292
8	0.0067	0.0353	0.1010	0.74741
9	0.0008	0.0073	0.0210	0.91098
C _{d rata-rata}				0.7676

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.14, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,6841 sampai 0,9100 dengan nilai rata-rata 0,7676.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.14 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.49

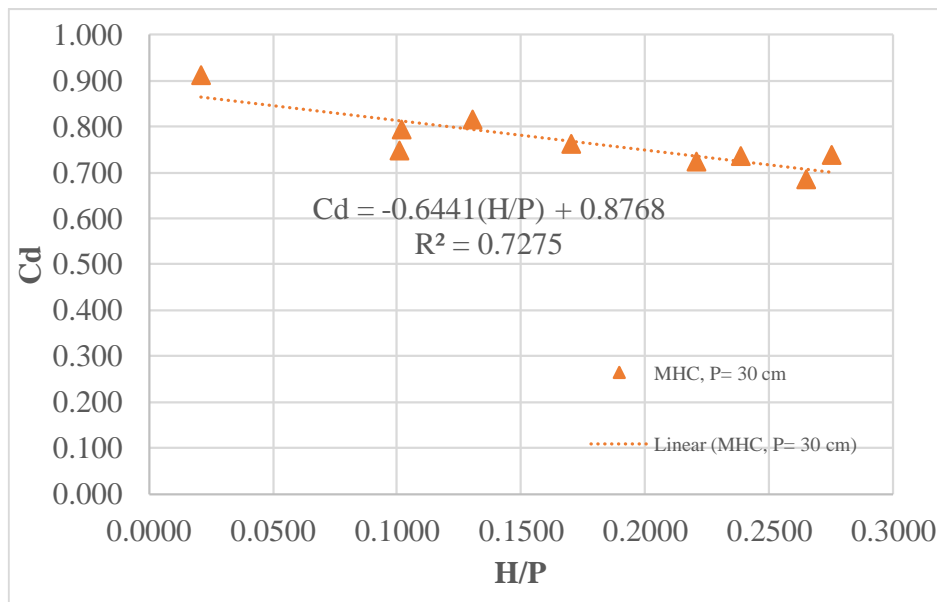


Gambar 4.49. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi *Halfcircular*, P = 30 cm

Berdasarkan gambar 4.49, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9966. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,66%, sementara sisanya 0,34% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 30 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0297 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0965 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,4539. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih kecil dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.50 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.50. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 30$ cm

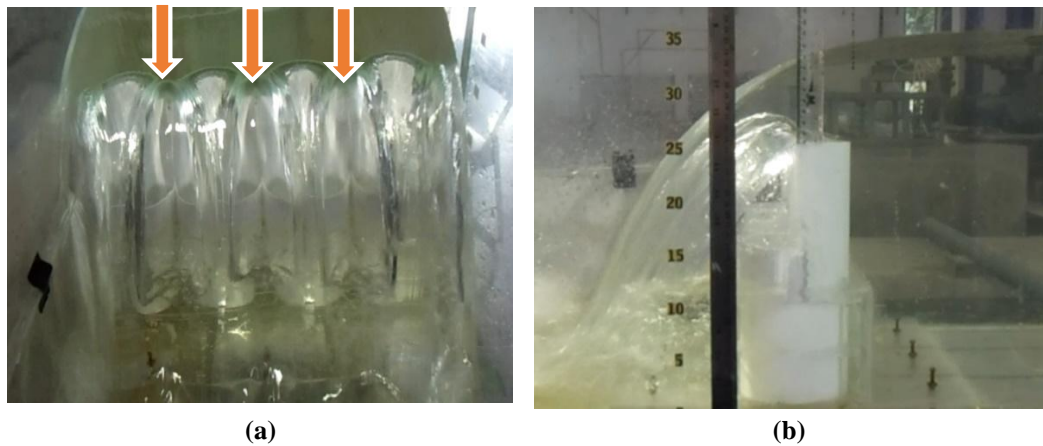
Berdasarkan gambar 4.50, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit berbanding terbalik dengan tinggi muka air di hulu. Kedalaman air di udik semakin rendah, maka nilai koefisien debit semakin besar.
2. Dari grafik 4.50 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin kecil mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar.

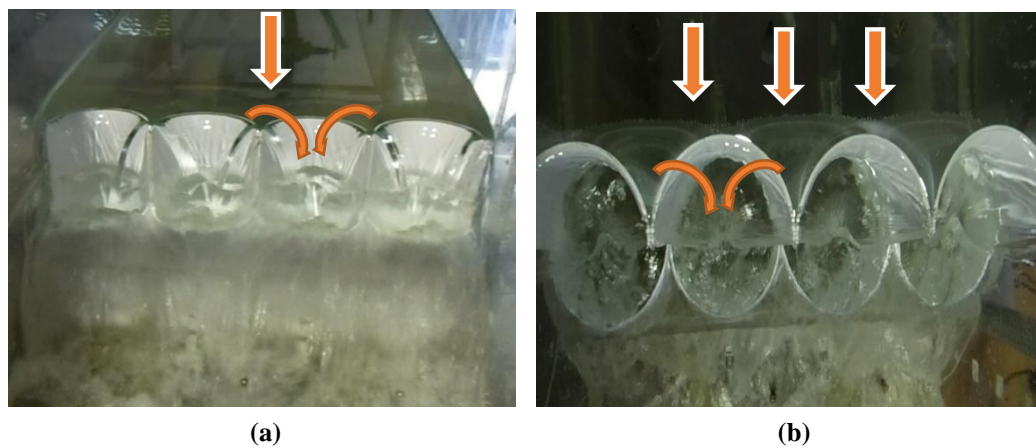
D. Model Seri 10, ($P = 25$ cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 25 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



Gambar 4.51. Debit Maksimum $P = 25$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.52. Debit Minimum $P = 25$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 25 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.15. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.1.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.15. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 25 cm

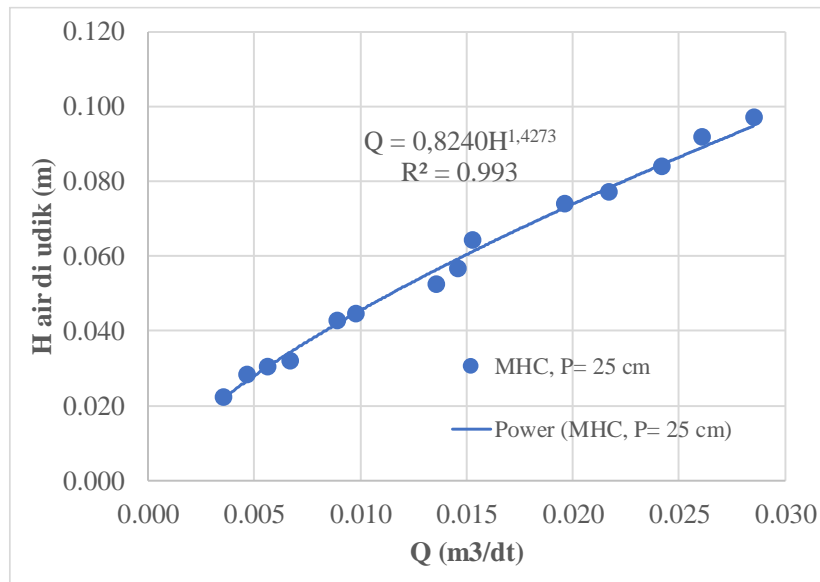
Percobaan ke -	Q_{ambang tipis} (m³/dt)	H (m)	H/P	C_d
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0.0285	0.0970	0.3880	0.70272
2	0.0261	0.0919	0.3676	0.69674
3	0.0242	0.0840	0.3360	0.73967
4	0.0217	0.0770	0.3080	0.75556
5	0.0196	0.0740	0.2960	0.72533
6	0.0146	0.0567	0.2267	0.80444
7	0.0098	0.0447	0.1787	0.77002
8	0.0089	0.0427	0.1707	0.75020
9	0.0067	0.0320	0.1280	0.86718
10	0.0056	0.0303	0.1213	0.79522
11	0.0036	0.0223	0.0893	0.79362
C_{d rata-rata}				0.7637

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.15, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,6967 sampai 0,8672 dengan nilai rata-rata 0,7637.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.15 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.53

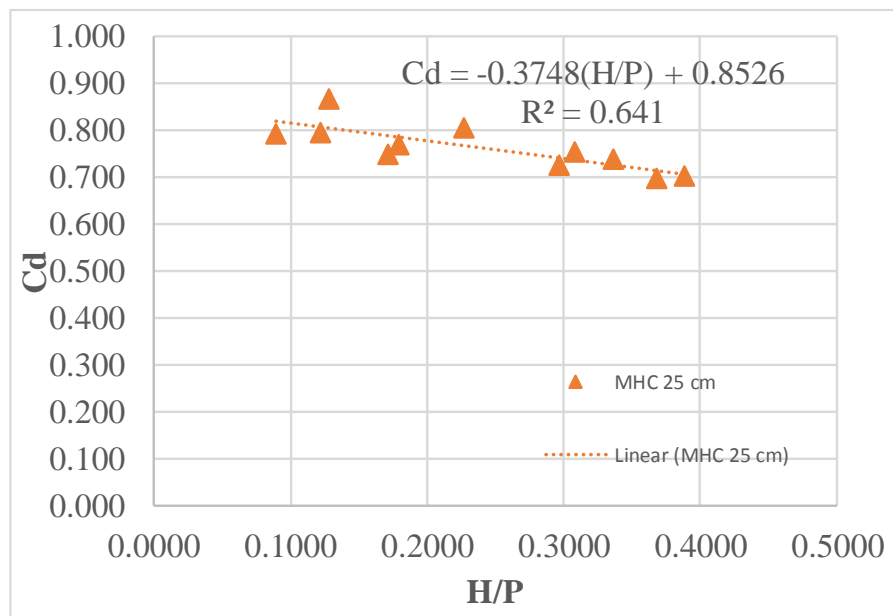


Gambar 4.53. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi *Halfcircular*, P = 25 cm

Berdasarkan gambar 4.53, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,993. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,3%, sementara sisanya 0,7% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 30 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0285 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0970 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,4273. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih kecil dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.54 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.54. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 25$ cm

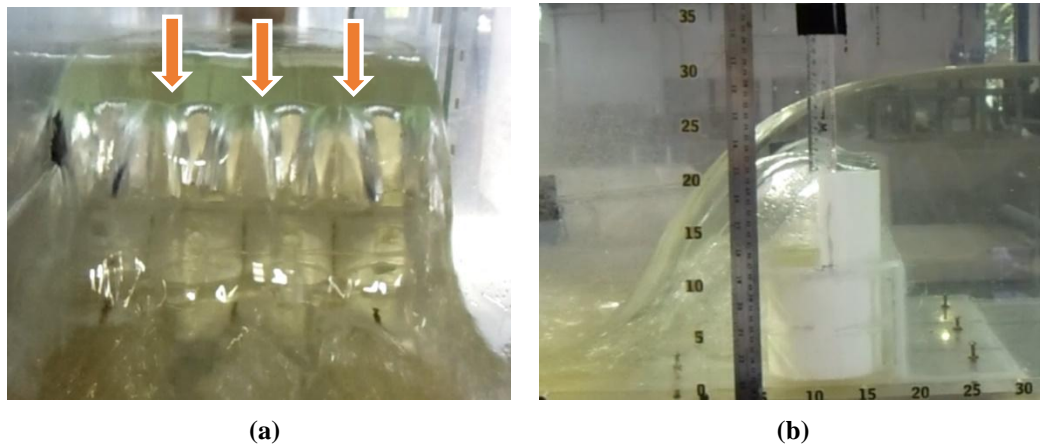
Berdasarkan gambar 4.54, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit berbanding terbalik dengan tinggi muka air di hulu. Kedalaman air di udik semakin rendah, maka nilai koefisien debit semakin besar.
2. Dari grafik 4.54 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin kecil mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

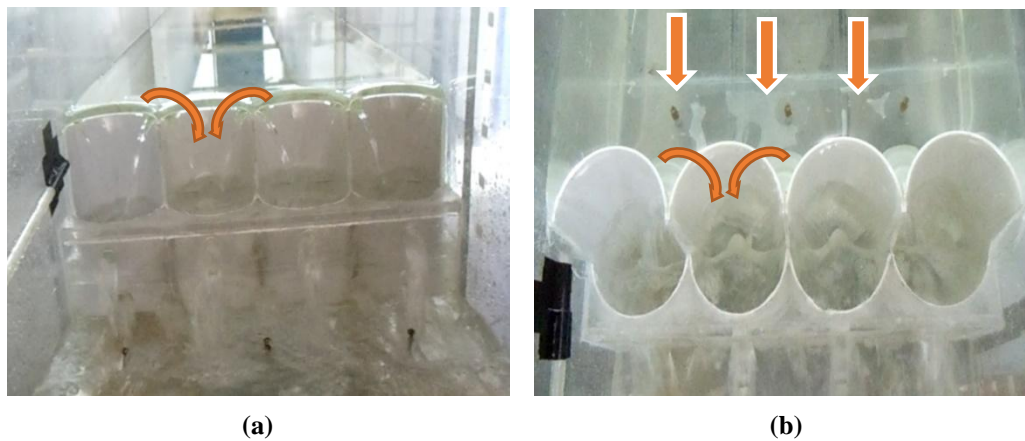
E. Model Seri 11, ($P = 20$ cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 20 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



Gambar 4.55. Debit Maksimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.56. Debit Minimum $P = 20$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 20 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.16. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.16. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 20 cm

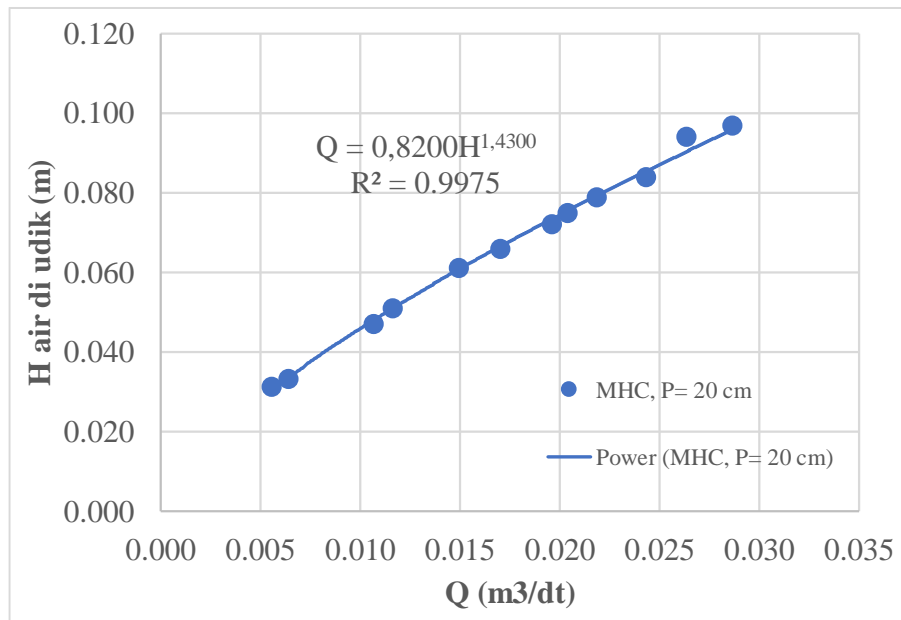
Percobaan ke -	Q _{ambang tipis} (m ³ /dt)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.0287	0.0970	0.4850	0.70589
2	0.0264	0.0941	0.4705	0.67996
3	0.0243	0.0840	0.4200	0.74339
4	0.0219	0.0790	0.3950	0.73360
5	0.0204	0.0750	0.3750	0.73840
6	0.0196	0.0720	0.3600	0.75577
7	0.0170	0.0660	0.3300	0.74783
8	0.0149	0.0610	0.3050	0.73721
9	0.0116	0.0510	0.2550	0.75056
10	0.0107	0.0470	0.2350	0.77991
11	0.0064	0.0333	0.1667	0.78368
12	0.0056	0.0313	0.1565	0.74865
C_{d rata-rata}				0.7421

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.16, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,6800 sampai 0,7837 dengan nilai rata-rata 0,7421.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.16 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.57

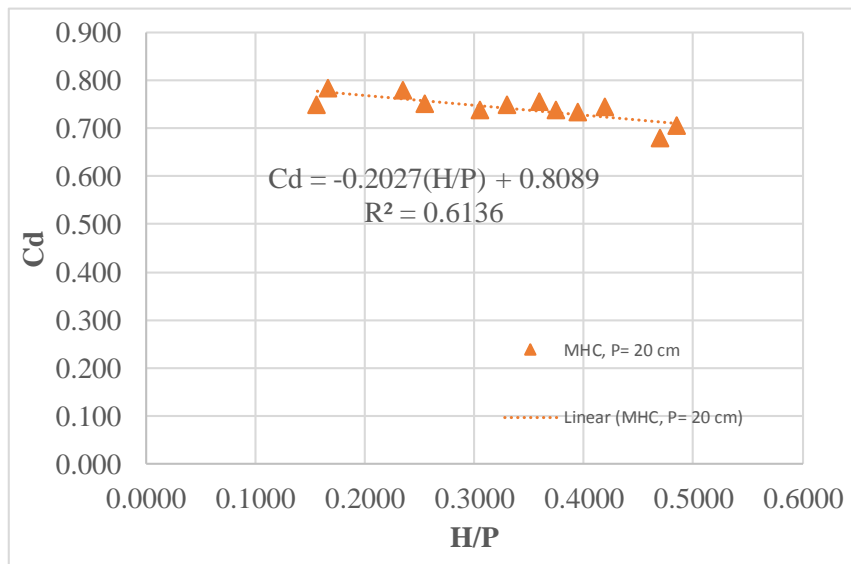


Gambar 4.57. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi *Halfcircular*, P = 20 cm

Berdasarkan gambar 4.57, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9975. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,75%, sementara sisanya 0,25% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 30 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0287 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0970 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,4300. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih kecil dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.58 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.58. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 20$ cm

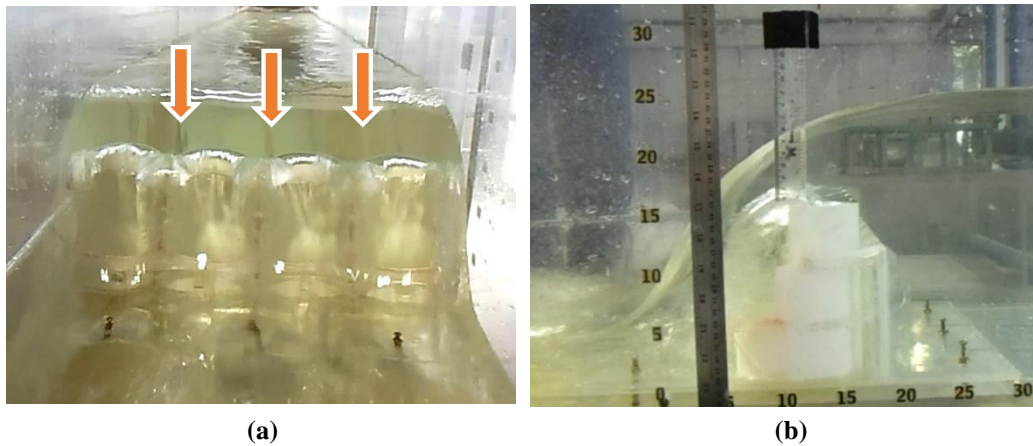
Berdasarkan gambar 4.58, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit berbanding terbalik dengan tinggi muka air di hulu. Kedalaman air di udik semakin rendah, maka nilai koefisien debit semakin besar.
2. Dari grafik 4.58 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin kecil mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

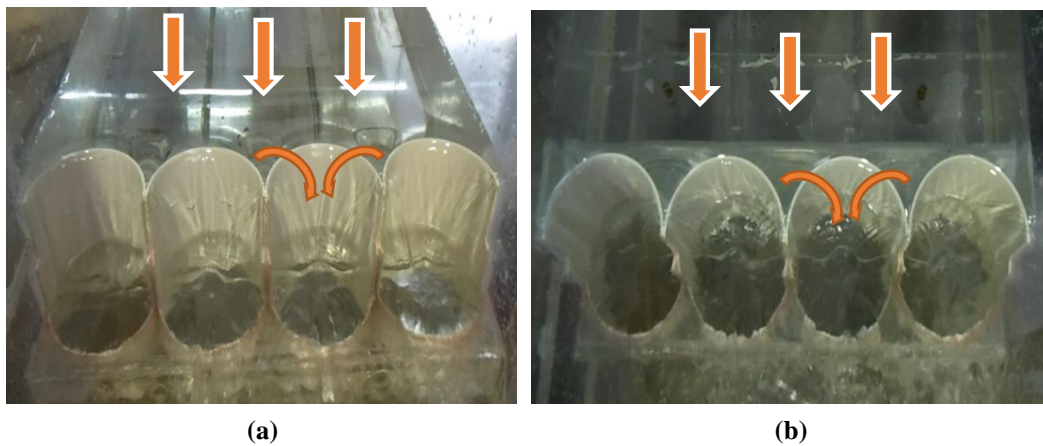
F. Model Seri 12, ($P = 15$ cm)

Model seri ini terbuat dari bahan akrilik pada bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dari pelimpah ambang. Sementara untuk pelimpah ambangnya dibuat dari pipa berjumlah 4 buah (gambar 4.2) Karakteristik ukuran model ini sebagai berikut:

- ✓ Tinggi pelimpah ambang = 15 cm
- ✓ Diameter pipa (1 buah) = 114 mm
- ✓ Lebar pelimpah = 0.716 m ($4 \times \frac{1}{2}$ Keliling Lingkaran)



Gambar 4.59. Debit Maksimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Samping, (Dokumentasi Peneliti)



Gambar 4.60. Debit Minimum $P = 15$ cm, a. Tampak Depan, b. Tampak Atas, (Dokumentasi Peneliti)

Hasil pengamatan model seri ini dengan tinggi pelimpah 15 cm disajikan dalam bentuk tabel 4.17. dengan penjelasan sebagai berikut:

- Kolom 2 berisikan perhitungan debit yang melewati model penelitian dengan menggunakan persamaan 4.5.
- Kolom 3 berisikan hasil pengamatan tinggi air di udik model penelitian.
- Kolom 4 berisikan perbandingan dari tinggi air di udik dan tinggi pelimpah.
- Kolom 5 merupakan hasil perhitungan koefisien debit terhadap debit bacaan alat ukur ambang tipis dan tinggi air di udik model (persamaan 4.6).

Tabel 4.17. Hasil Pengukuran Tinggi Air (m) di Atas Model Penelitian dan Hasil Perhitungan Debit Air (m³/dt), P = 15 cm

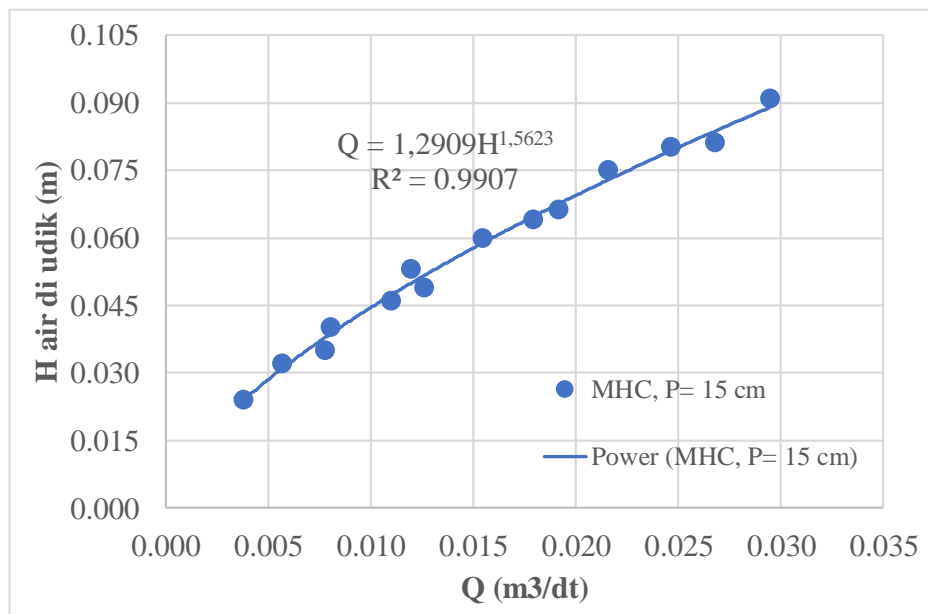
Percobaan ke -	Q _{ambang tipis} (m ³ /dt)	H (m)	H/P	C _d
1	2	3	4	5
1	0.0294	0.0909	0.6060	0.79915
2	0.0246	0.0801	0.5340	0.80767
3	0.0215	0.0750	0.4998	0.78085
4	0.0154	0.0600	0.4000	0.78203
5	0.0080	0.0400	0.2667	0.74693
6	0.0056	0.0320	0.2133	0.73391
7	0.0038	0.0240	0.1600	0.75557
C _{d rata-rata}				0.7723

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.17, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit terukur oleh alat ukur ambang tipis bernilai sebanding dengan tinggi muka air di udik model pelimpah.
2. Dari pasangan data debit dan muka air pada pengujian model seri ini, diperoleh nilai koefisien debit yang bernilai antara 0,7339 sampai 0,8077 dengan nilai rata-rata 0,7723.

Pengamatan tinggi muka air dimaksudkan agar dapat mengetahui keadaan tinggi muka air di udik untuk berbagai debit yang dialirkan. Dari tabel 4.16 kemudian dibuat grafik lengkung debit seperti tampak pada gambar 4.61

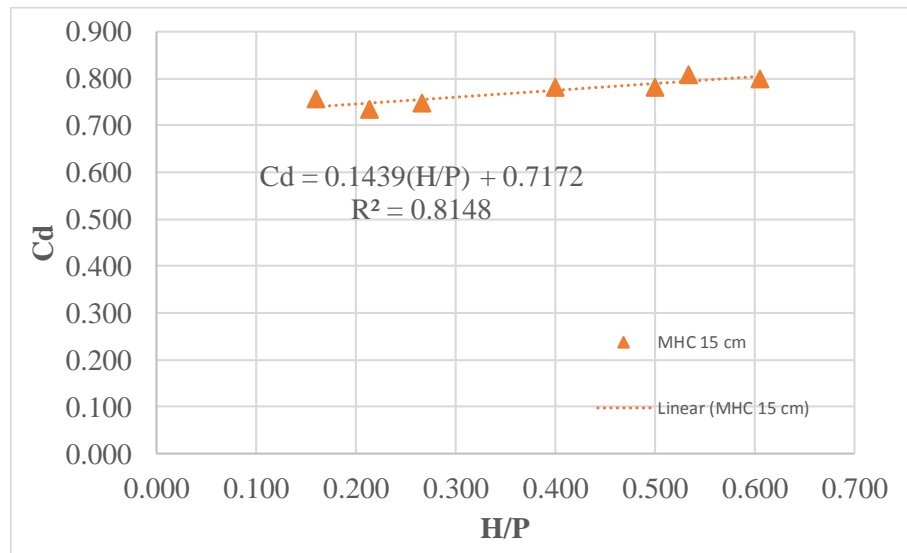


Gambar 4.61. Grafik Lengkung Debit Ambang Multi Halfcircular, P = 15 cm

Berdasarkan gambar 4.61, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Hasil analisa statistik diperoleh Nilai R^2 dari grafik lengkung debit diperoleh sebesar 0,9907. Hal ini menandakan bahwa persentase pengaruh ketinggian air terhadap debit adalah sebesar 99,07%, sementara sisanya 0,93% dipengaruhi oleh variabel lain diluar dari model regresi tersebut.
2. Model seri ini dengan ketinggian pelimpah ambang yakni 15 cm, mampu mengalirkan debit maksimum 0,0294 m³/dt dengan ketinggian air di udik bangunan model mencapai 0,0909 meter.
3. Persamaan debit hasil pengukuran, tinggi muka air di udik (H) dipangkatkan sebesar 1,5623. Sementara berdasarkan teori persamaan 4.1 , nilai tinggi air di udik (H) dipangkatkan 1,5. Hal ini menandakan debit hasil pengukuran model lebih besar dibandingkan dengan debit hasil teori.

Gambar 4.62 menunjukkan perbandingan antara nilai koefisien debit hasil pengukuran terhadap tinggi air di udik dan tinggi pelimpah. Pada sumbu ordinat adalah koefisien debit dan sumbu absis merupakan nilai perbandingan tinggi muka air di udik dan tinggi pelimpah.



Gambar 4.62. Grafik Hubungan Koefisien Debit (C_d) dan H/P , $P = 15$ cm

Berdasarkan gambar 4.62, dapat dijelaskan bahwa:

1. Kecenderungan nilai koefisien debit bergantung pada tinggi muka air di hulu. Semakin besar nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu bendung semakin tinggi.
2. Dari grafik 4.54 memperlihatkan Nilai C_d yang semakin besar mengindikasikan debit yang melewati pelimpah ambang semakin besar juga.

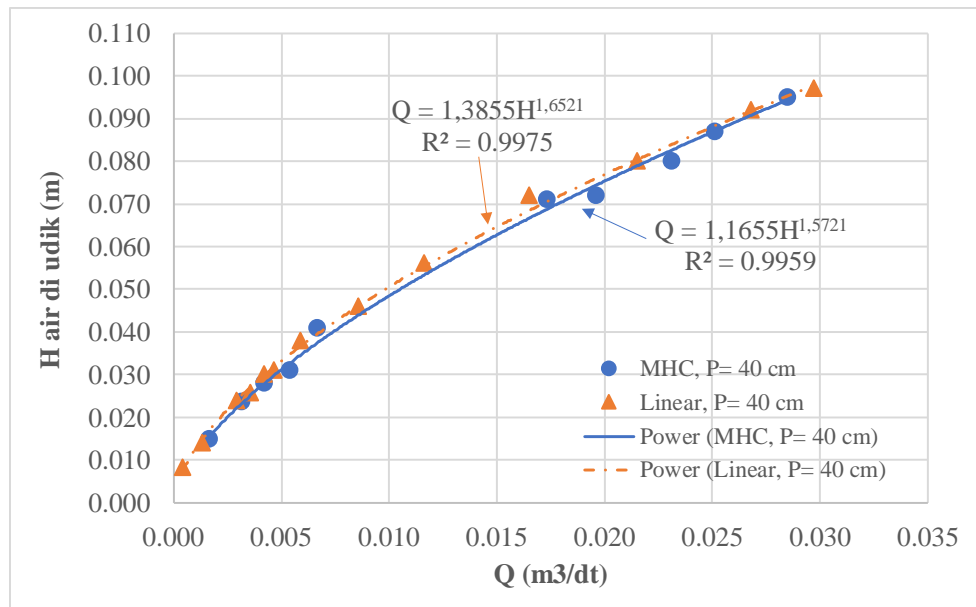
4.7. Perbandingan Hasil Uji Model Fisik Hidraulik Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*

Hasil uji model fisik hidraulik ambang linear dan ambang multi *halfcircular* dibandingkan untuk mendapatkan informasi tentang debit dan tinggi air di udik yang melewati kedua model penelitian tersebut. Pada sub bab ini, perbandingan yang dilakukan dikhususkan untuk parameter aliran, meliputi tinggi air pada kedua ambang (linear dan multi *halfcircular*), debit air, dan koefisien debit pada ambang linear dan multi *halfcircular*.

4.7.1. Perbandingan Tinggi Air di Udik Model Penelitian

A. Model Seri 1 dan Model Seri 7, (P = 40 cm)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.63.



Gambar 4.63. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*, P = 40 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.63 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang melewati model penelitian. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum 0,029 m³/dt memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.
2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.63, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 40 cm.

$$Q = 1,1655 \cdot H^{1,5721} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular) (4.6)}$$

$$Q = 1,3855 \cdot H^{1,6521} \text{ (untuk ambang Linear) (4.7)}$$

Hasil Persamaan 4.6 dan 4.7 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel 4.18 untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.6.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.7.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.18. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, P = 40 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air di Udik (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		Multi Halfcircular	Linear		
		Pers. 4.6	Pers. 4.7		
1	2	3	4	5	6
1	0.0400	0.1171	0.1170	-0.0001	-0.08%
2	0.0390	0.1152	0.1152	0.0000	0.00%
3	0.0350	0.1075	0.1079	0.0004	0.33%
4	0.0310	0.0996	0.1003	0.0007	0.70%
5	0.0270	0.0912	0.0922	0.0010	1.12%
6	0.0230	0.0823	0.0837	0.0013	1.61%
7	0.0200	0.0753	0.0769	0.0016	2.03%
8	0.0070	0.0386	0.0407	0.0021	5.15%
9	0.0030	0.0225	0.0244	0.0019	7.59%
10	0.0001	0.0026	0.0031	0.0005	16.78%

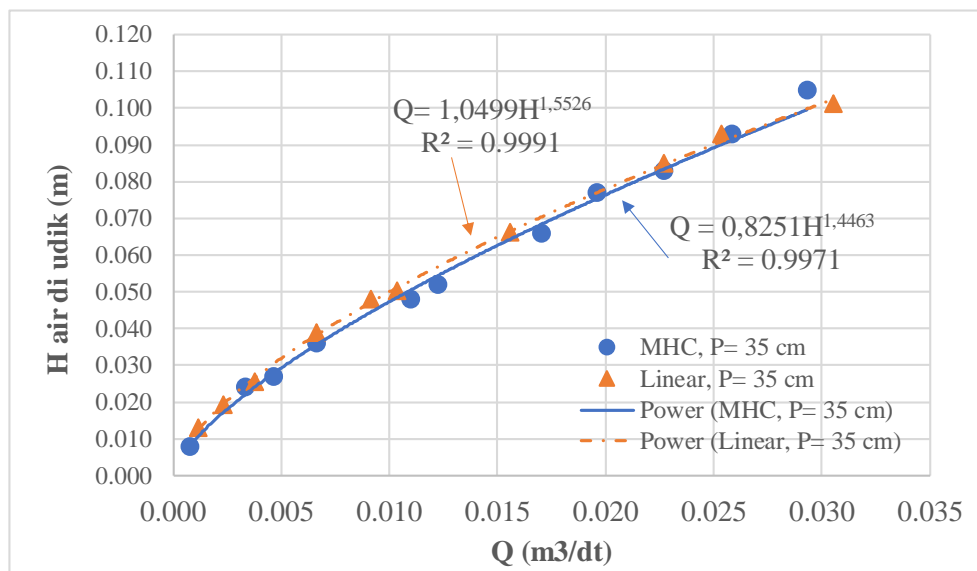
Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.18 dengan menggunakan persamaan 4.6 dan 4.7, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit yang semakin kecil yakni $0,0001 \text{ m}^3/\text{dt}$, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut sebesar 16,78%. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.
2. Pada debit $0,039 \text{ m}^3/\text{dt}$, tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama,

B. Model Seri 2 dan Model Seri 8, (P = 35 cm)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.64.



Gambar 4.64. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*, P = 35 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.64 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang terukur pada alat ambang tipis. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum $0,03$

m^3/dt memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.

2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.64, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 35 cm.

$$Q = 0,8251 \cdot H^{1,4463} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular) (4.8)}$$

$$Q = 1,0499 \cdot H^{1,5526} \text{ (untuk ambang Linear) (4.9)}$$

Hasil Persamaan 4.8 dan 4.9 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.8.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.9.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.19. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, P = 35 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air di Udik (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		Multi Halfcircular	Linear		
		Pers. 4.8	Pers. 4.9		
1	2	3	4	5	6
1	0.0350	0.1125	0.1118	-0.0006	-0.58%
2	0.0310	0.1034	0.1034	0.0000	0.00%
3	0.0268	0.0935	0.0942	0.0006	0.68%
4	0.0237	0.0859	0.0870	0.0011	1.26%
5	0.0206	0.0780	0.0795	0.0015	1.91%
6	0.0175	0.0697	0.0716	0.0019	2.66%
7	0.0144	0.0609	0.0631	0.0022	3.56%
8	0.0113	0.0515	0.0540	0.0025	4.66%
9	0.0082	0.0412	0.0439	0.0027	6.09%
9	0.0030	0.0206	0.0230	0.0024	10.45%
10	0.0001	0.0020	0.0026	0.0006	23.76%

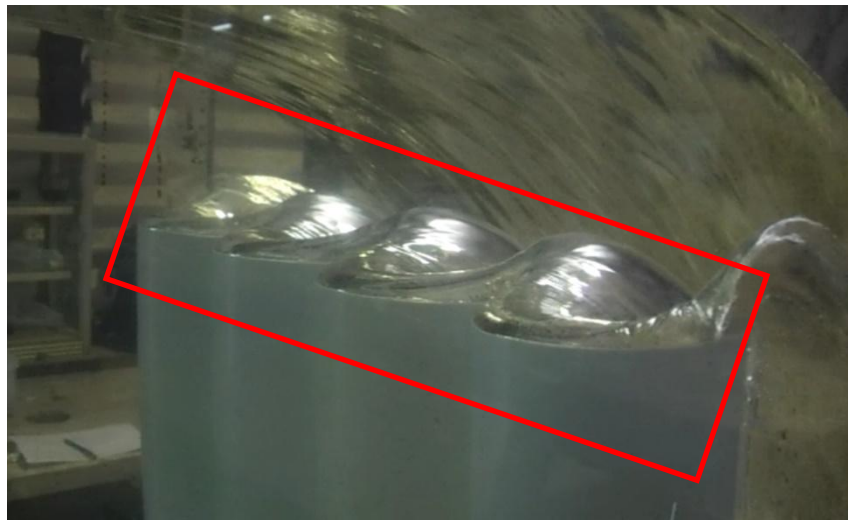
Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.19 dengan menggunakan persamaan 4.8 dan 4.9, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

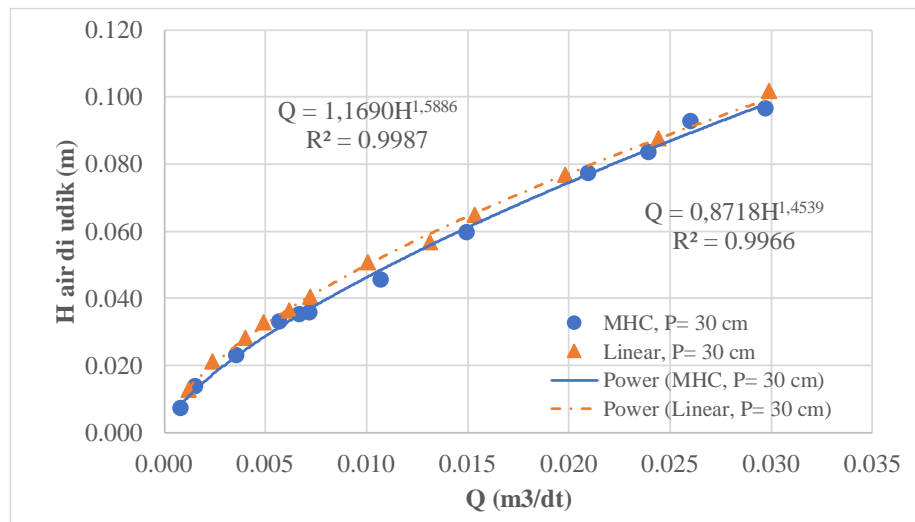
1. Debit yang semakin kecil yakni $0,0001 \text{ m}^3/\text{dt}$, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Pada tinggi pelimpah 35 cm selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut mencapai 23,76%. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.
2. Pada debit $0,031 \text{ m}^3/\text{dt}$ tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama.

C. Model Seri 3 dan Model Seri 9, ($P = 30 \text{ cm}$)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.66.



Gambar 4.65. Kontraksi pada Puncak Ambang



Gambar 4.66. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi Halfcircular, P = 30 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.66 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang melewati model penelitian. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum 0,03 m³/dt memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.
2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.66, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 30 cm.

$$Q = 0,8718 \cdot H^{1,4539} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular)..... (4.10)}$$

$$Q = 1,1690 \cdot H^{1,5886} \text{ (untuk ambang Linear)..... (4.11)}$$

Hasil Persamaan 4.10 dan 4.11 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.10.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.11.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.20. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi *Halfcircular*, P = 30 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air pada Ambang (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		Multi <i>Halfcircular</i>	Linear		
		Pers. 4.10	Pers. 4.11		
1	2	3	4	5	6
1	0.0370	0.1138	0.1138	-0.0001	-0.05%
2	0.0367	0.1132	0.1132	0.0000	0.00%
3	0.0268	0.0912	0.0929	0.0017	1.82%
4	0.0237	0.0838	0.0859	0.0022	2.52%
5	0.0206	0.0761	0.0787	0.0026	3.31%
6	0.0175	0.0680	0.0710	0.0030	4.23%
7	0.0144	0.0595	0.0628	0.0033	5.31%
8	0.0113	0.0503	0.0539	0.0036	6.64%
9	0.0030	0.0202	0.0234	0.0032	13.58%
10	0.0001	0.0019	0.0027	0.0008	29.13%

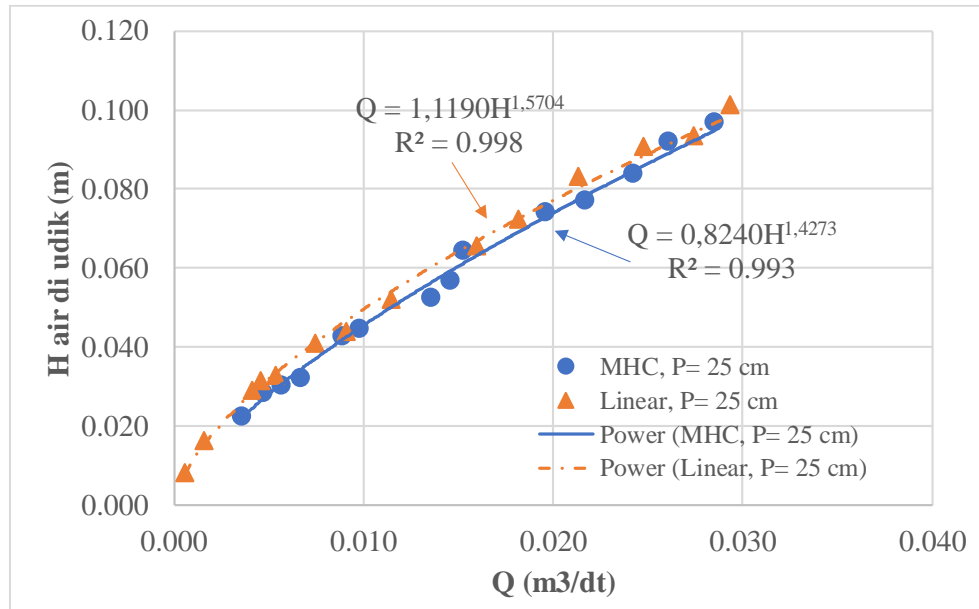
Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.20 dengan menggunakan persamaan 4.10 dan 4.11, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit yang semakin kecil yakni 0,0001 m³/dt, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Pada tinggi pelimpah 35 cm selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut mencapai 29,13%. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.
2. Pada debit 0,0367 m³/dt tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama.

D. Model Seri 4 dan Model Seri 10, (P = 25 cm)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.67.



Gambar 4.67. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*, P = 25 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.67 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang melewati model penelitian. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum 0,03 m³/dt memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.
2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.67, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 25 cm.

$$Q = 0,8240 \cdot H^{1,4273} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular)..... (4.12)}$$

$$Q = 1,1190 \cdot H^{1,5704} \text{ (untuk ambang Linear) (4.13)}$$

Hasil Persamaan 4.12 dan 4.13 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.12.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.13.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.21. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, P = 25 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air pada Ambang (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		Multi Halfcircular	Linear		
		Pers. 4.12	Pers. 4.13		
1	2	3	4	5	6
1	0.0390	0.1180	0.1179	0.0000	-0.03%
2	0.0388	0.1176	0.1176	0.0000	0.00%
3	0.0344	0.1081	0.1089	0.0008	0.77%
4	0.0326	0.1041	0.1052	0.0012	1.11%
5	0.0308	0.1000	0.1015	0.0015	1.47%
6	0.0290	0.0959	0.0977	0.0018	1.84%
7	0.0272	0.0917	0.0938	0.0021	2.24%
8	0.0254	0.0874	0.0898	0.0024	2.67%
9	0.0030	0.0196	0.0230	0.0035	15.07%
10	0.0001	0.0018	0.0026	0.0008	31.64%

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.21 dengan menggunakan persamaan 4.12 dan 4.13, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

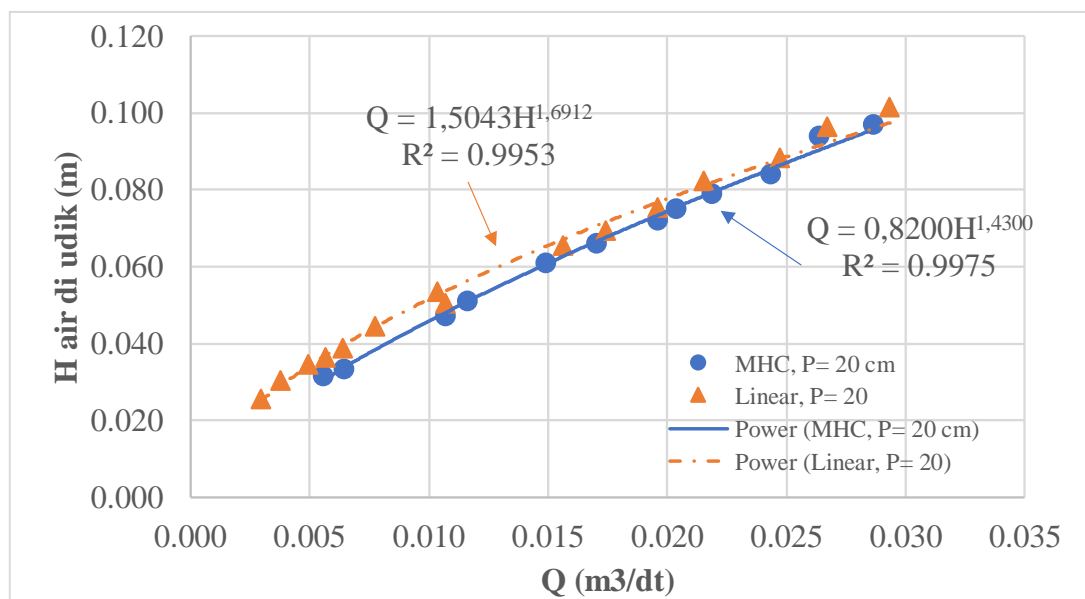
1. Debit yang semakin kecil yakni 0,0001 m³/dt, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Pada tinggi pelimpah 25

cm selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut mencapai 31,64%. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.

2. Pada debit 0,0388 m³/dt tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama.

E. Model Seri 5 dan Model Seri 11, (P = 20 cm)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.68.



Gambar 4.68. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*, P = 20 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.68 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang melewati model penelitian. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum 0,03 m³/dt

memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.

2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.68, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 20 cm.

$$Q = 0,8200 \cdot H^{1,4300} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular) (4.14)}$$

$$Q = 1,5043 \cdot H^{1,6912} \text{ (untuk ambang Linear) (4.15)}$$

Hasil Persamaan 4.14 dan 4.15 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.14.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.15.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.22. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, P = 20 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air pada Ambang (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		Multi Halfcircular	Linear		
		Pers. 4.14	Pers. 4.15		
1	2	3	4	5	6
1	0.0300	0.0989	0.0988	-0.0002	-0.15%
2	0.0296	0.0979	0.0979	0.0000	0.00%
3	0.0270	0.0919	0.0928	0.0009	0.98%
4	0.0244	0.0857	0.0875	0.0018	2.04%
5	0.0219	0.0793	0.0819	0.0026	3.21%
6	0.0193	0.0726	0.0761	0.0034	4.51%
7	0.0167	0.0657	0.0699	0.0042	5.97%
8	0.0142	0.0585	0.0633	0.0048	7.65%
9	0.0030	0.0198	0.0253	0.0055	21.90%
10	0.0001	0.0018	0.0034	0.0016	45.91%

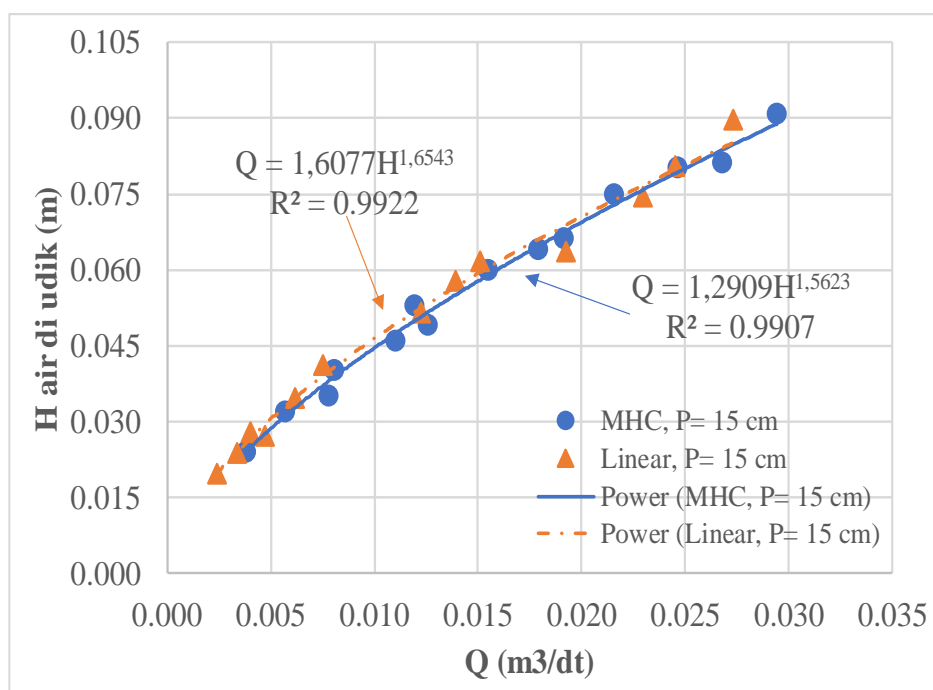
Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.22 dengan menggunakan persamaan 4.14 dan 4.15, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit yang semakin kecil yakni 0,0001 m³/dt, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Pada tinggi pelimpah 20 cm selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut mencapai 45,91%. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.
2. Pada debit 0,0296 m³/dt tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama.

F. Model Seri 6 dan Model Seri 12, (P = 15 cm)

Gambar grafik lengkung debit hubungan antara tinggi air di udik model uji dan debit aliran yang melewati kedua ambang (ambang linear dan ambang multi *halfcircular*) terukur dengan alat ukur ambang tipis disajikan dalam gambar 4.69.



Gambar 4.69. Grafik Lengkung Debit Ambang Linear dan Ambang Multi *Halfcircular*, P = 15 cm

Sebagai penjelasan dari grafik tersebut adalah:

1. Gambar 4.69 menunjukkan perbandingan lengkung debit antara tinggi air di udik model dengan debit aliran yang melewati model penelitian. Tinggi air di udik untuk model *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di udik ambang linear. Sebaliknya dengan nilai tinggi air di udik yang sama, maka debit pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit ambang linear. Namun pada debit maksimum 0,029 m³/dt memperlihatkan tinggi air di udik pada kedua pelimpah memiliki nilai yang sama.
2. Dari garis regresi yang terbentuk pada grafik 4.69, menghasilkan persamaan debit yang melewati ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Persamaan tersebut berlaku untuk tinggi pelimpah ambang 15 cm.

$$Q = 1,2909 \cdot H^{1,5623} \text{ (untuk ambang Multi Halfcircular) (4.16)}$$

$$Q = 1,6077 \cdot H^{1,6543} \text{ (untuk ambang Linear) (4.17)}$$

Hasil Persamaan 4.16 dan 4.17 kemudian dibuatkan dalam bentuk tabel untuk mengetahui selisih nilai tinggi air di udik pada kedua model ambang pelimpah.

- Kolom 2 berisikan data debit asumsi yang melewati pelimpah
- Kolom 3 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.16.
- Kolom 4 berisikan hasil tinggi air di udik dengan persamaan 4.17.
- Kolom 5 berisikan selisih tinggi air di udik (kolom 4 – kolom 3)
- Kolom 6 berisikan selisih tinggi air di udik dalam persen (kolom 5/kolom 4)

Tabel 4.23. Hasil Hitungan Tinggi Muka Air Pelimpah Ambang Linear dan Pelimpah Ambang Multi *Halfcircular*, P = 15 cm

No	Q (m ³ /dt)	Tinggi Air di Udik (m)		Selisih Tinggi (m)	Selisih Tinggi (%)
		<i>Multi Halfcircular</i>	Linear		
		Pers. 4.16	Pers. 4.17		
1	2	3	4	5	6
1	0.0330	0.0957	0.0955	-0.0002	-0.21%
2	0.0311	0.0921	0.0921	0.0000	0.00%
3	0.0254	0.0809	0.0815	0.0006	0.72%
4	0.0226	0.0751	0.0759	0.0009	1.13%
5	0.0198	0.0690	0.0701	0.0011	1.59%
6	0.0170	0.0626	0.0639	0.0014	2.13%
7	0.0142	0.0558	0.0573	0.0016	2.75%
8	0.0114	0.0484	0.0502	0.0018	3.51%
9	0.0030	0.0206	0.0224	0.0018	7.99%
10	0.0001	0.0023	0.0029	0.0005	18.48%

Sumber Perhitungan

Berdasarkan hasil tabel 4.23 dengan menggunakan persamaan 4.16 dan 4.17, dapat disampaikan ringkasan sebagai berikut:

1. Debit yang semakin kecil yakni 0,0001 m³/dt, tinggi air pada ambang multi *halfcircular* lebih rendah daripada ambang linear. Pada tinggi pelimpah 15 cm selisih perbedaan tinggi air di udik untuk nilai debit tersebut mencapai 18,48 %. Namun ketika debit bertambah, selisih tinggi air di udik tidak terlalu besar pada kedua model ambang.
2. Pada debit 0,0311 m³/dt tinggi air di udik pada kedua ambang memiliki nilai yang sama

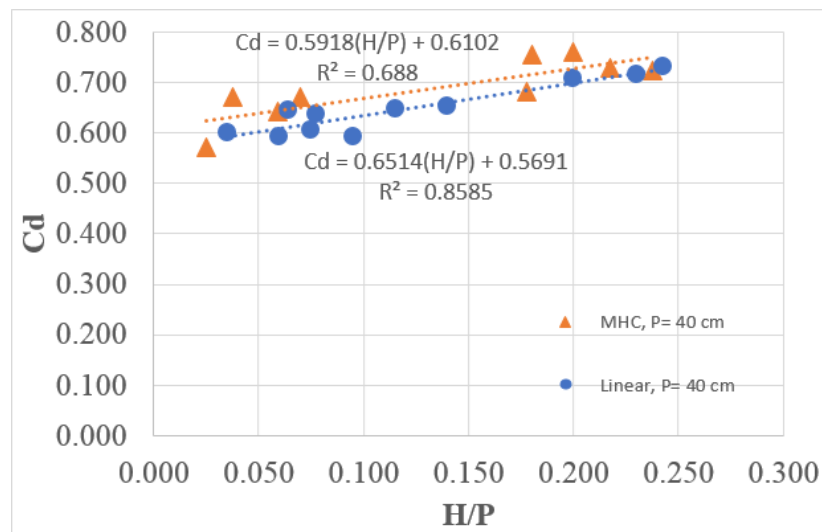
4.7.2. Perbandingan Hasil Uji Model Fisik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P (Tinggi Air di Udik Dan Tinggi Pelimpah)

Karakteristik aliran di atas ambang salah satunya dipengaruhi oleh koefisien debit (C_d). Semakin kecil nilai koefisien debit, kedalaman air di hulu model semakin tinggi, sehingga mungkin saja dapat membahayakan bangunan air seperti tanggul

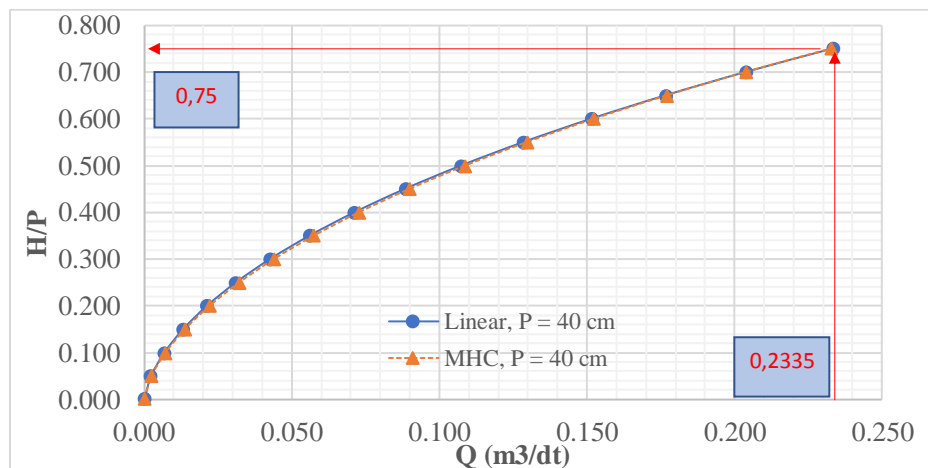
di hulu pelimpah. Tujuan perbandingan ini untuk mengetahui kecenderungan nilai koefisien debit pada kedua model pelimpah. Perbandingan nilai koefisien debit baik pada ambang linear maupun ambang multi *halfcircular* dihitung dengan menggunakan lebar efektif ambang sama dengan lebar saluran flume ($B = 45,5$ cm).

A. Model Seri 1 dan Model Seri 7, ($P = 40$ cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) terhadap H/P pada model ambang linear dan ambang multi *halfcircular*, disajikan dalam gambar 4.70. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.71, kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.71.



Gambar 4.70. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P , $P = 40$ Cm



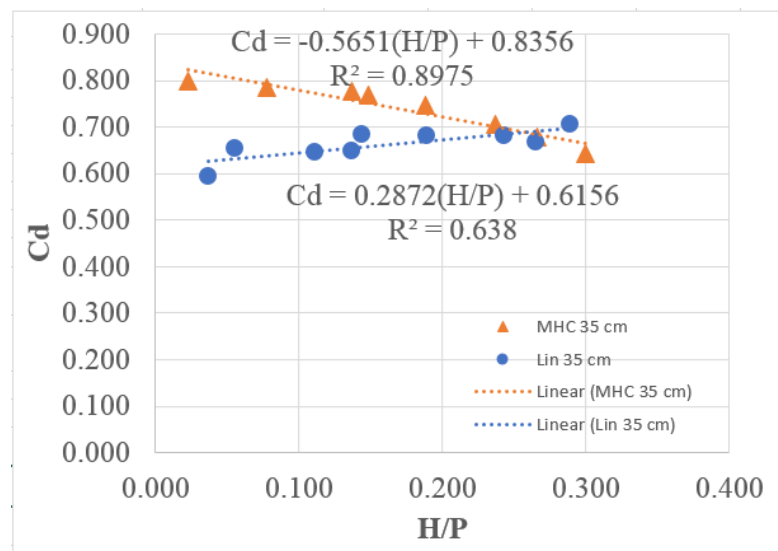
Gambar 4.71. Grafik Debit (Q) Dan H/P, P = 40 Cm

Dari gambar 4.70 dan gambar 4.71, dapat dijelaskan sebagai berikut:

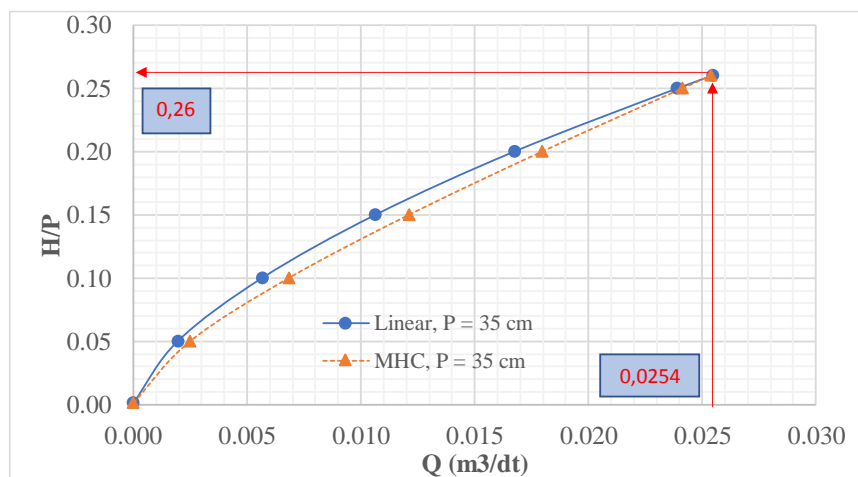
1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* mengalami kenaikan pada nilai H/P yang besar.
2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,75$. Nilai $H/P = 0,75$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.70).

B. Model Seri 2 dan Model Seri 8, (P= 35 cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) dan H/P ambang linear dan multi *halfcircular* pada uji model fisik hidraulik disajikan dalam gambar 4.71. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.72, kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.72.



Gambar 4.72. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P , $P = 35$ Cm



Gambar 4.73. Grafik Debit (Q) Dan H/P , $P = 35$ Cm

Dari gambar 4.72 dan gambar 4.73, dapat dijelaskan sebagai berikut:

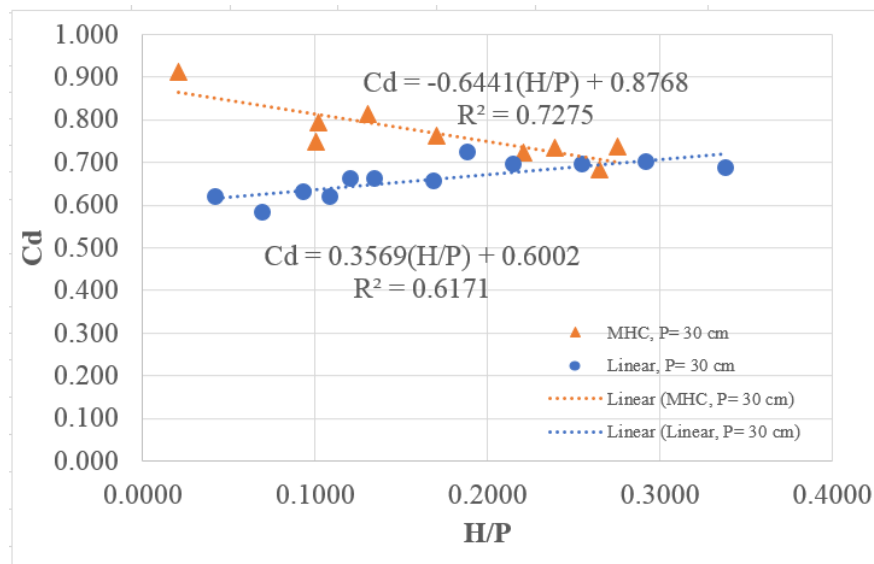
1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* berpotongan pada satu titik (gambar 4.72). Pada ambang multi *halfcircular*, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin kecil. Sebaliknya pada ambang linear, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin besar.
2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,26$. Nilai $H/P = 0,26$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain

itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.

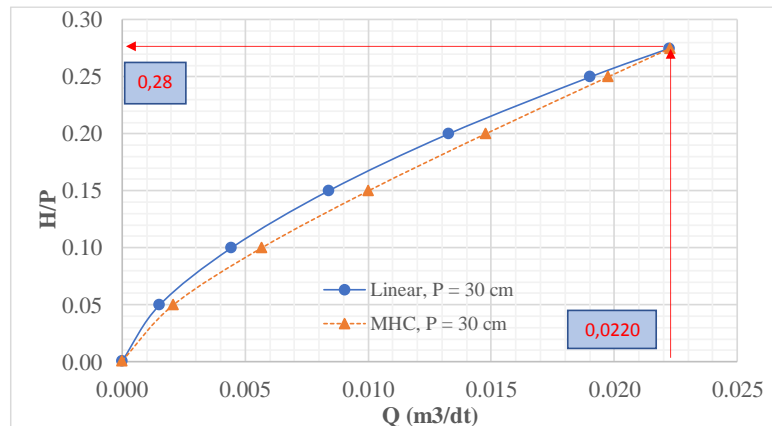
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.72).

C. Model Seri 3 dan Model Seri 9, (P = 30 cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) dan H/P ambang linear dan multi *halfcircular* pada uji model fisik hidraulik disajikan dalam gambar 4.74. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.75, kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.75.



Gambar 4.74. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, P = 30 Cm



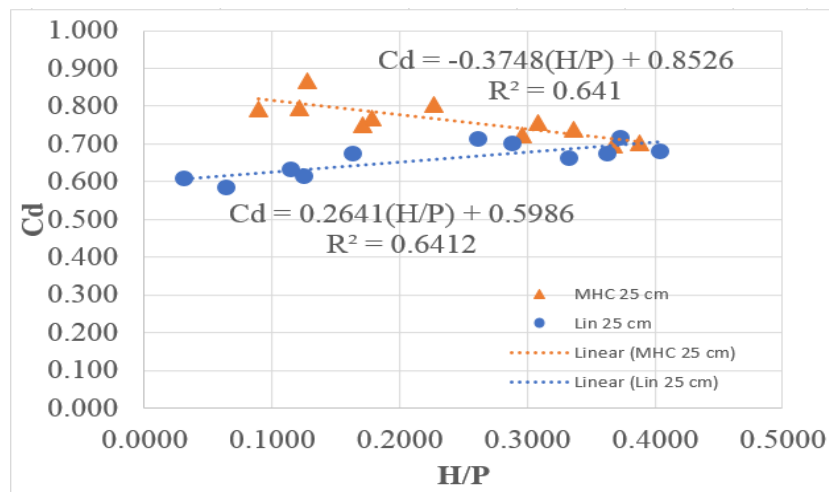
Gambar 4.75. Grafik Debit (Q) Dan H/P, P = 30 Cm

Dari gambar 4.74 dan gambar 4.75, dapat dijelaskan sebagai berikut:

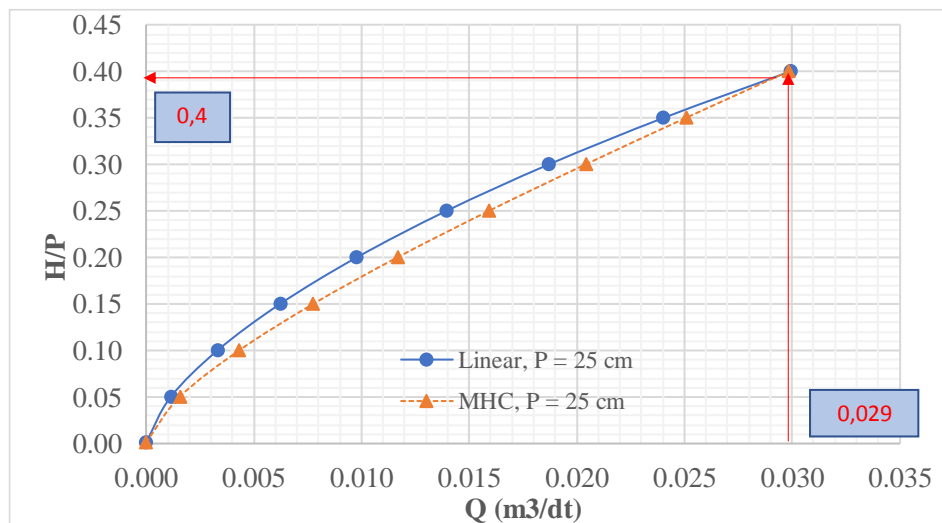
1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* berpotongan pada satu titik (gambar 4.74). Pada ambang multi *halfcircular*, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin kecil. Sebaliknya pada ambang linear, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin besar.
2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,28$. Nilai $H/P = 0,28$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.74).

D. Model Seri 4 dan Model Seri 10, (P = 25 cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) dan H/P ambang linear dan multi *halfcircular* pada uji model fisik hidraulik disajikan dalam gambar 4.76. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.77, kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.77.



Gambar 4.76. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P , $P = 25$ cm



Gambar 4.77. Grafik Debit (Q) Dan H/P , $P = 25$ Cm

Dari gambar 4.76 dan gambar 4.77, dapat dijelaskan sebagai berikut:

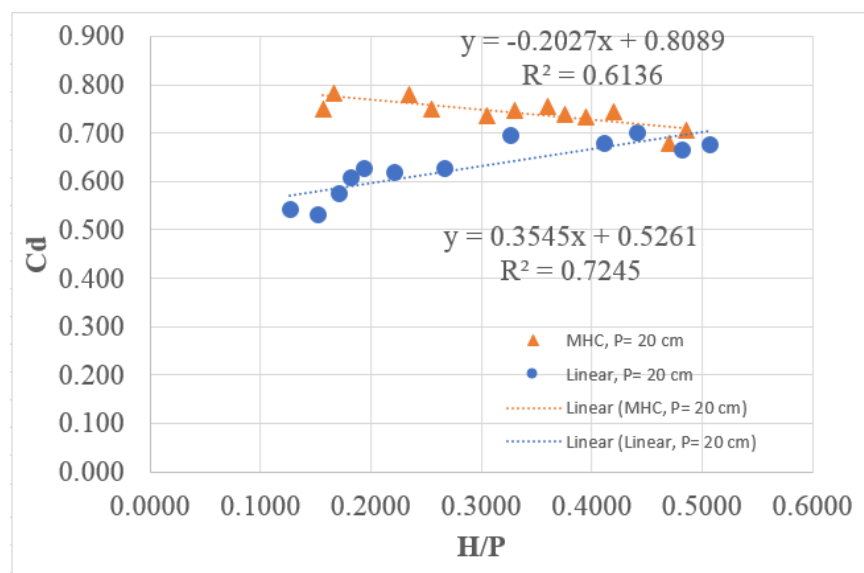
1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* berpotongan pada satu titik (gambar 4.76). Pada ambang multi *halfcircular*, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin kecil. Sebaliknya pada ambang linear, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin besar.
2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,4$. Nilai $H/P = 0,4$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain

itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.

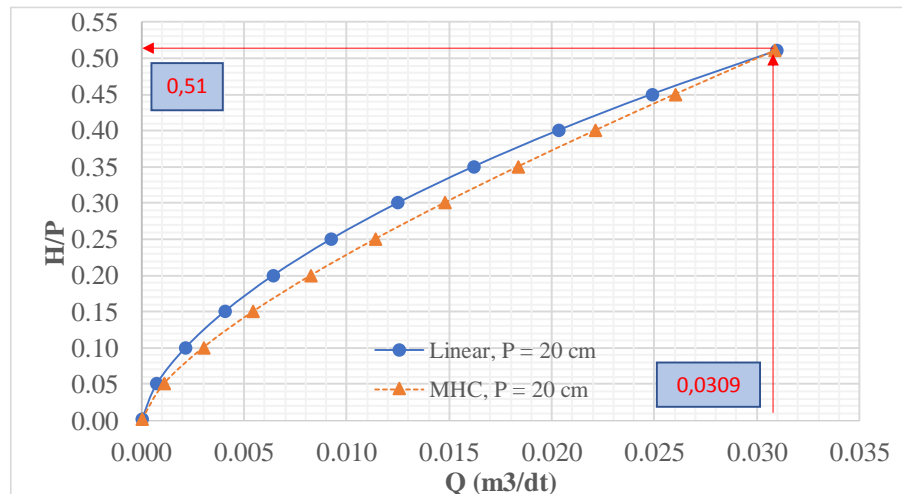
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.76).

E. Model Seri 5 dan Model Seri 11, (P = 20 cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) dan H/P ambang linear dan multi *halfcircular* pada uji model fisik hidraulik disajikan dalam gambar 4.78. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.79, kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.79.



Gambar 4.78. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P, P = 20 Cm



Gambar 4.79. Grafik Debit (Q) Dan H/P, P = 20 Cm

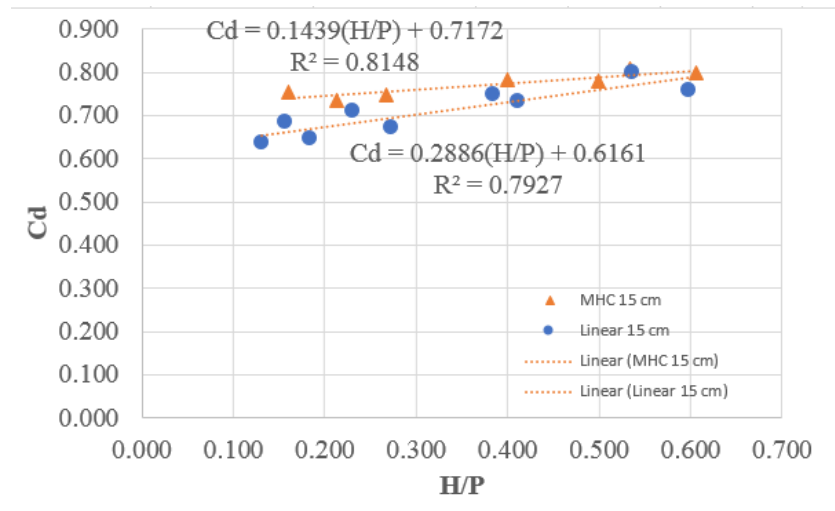
Dari gambar 4.78 dan gambar 4.79, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* berpotongan pada satu titik (gambar 4.78). Pada ambang multi *halfcircular*, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin kecil. Sebaliknya pada ambang linear, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin besar.
2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,51$. Nilai $H/P = 0,51$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.78).

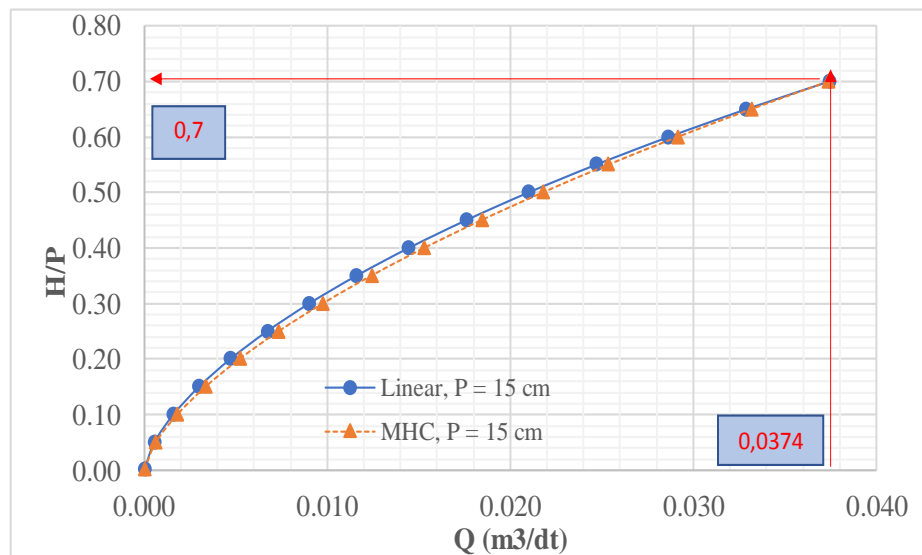
F. Model Seri 6 dan Model Seri 12, (P= 15 cm)

Gambar grafik antara koefisien debit (C_d) dan H/P ambang linear dan multi *halfcircular* pada uji model fisik hidraulik disajikan dalam gambar 4.80. Persamaan koefisien debit yang terbentuk dari plot data H/P dan C_d pada gambar 4.81,

kemudian digunakan untuk menghitung debit menggunakan persamaan 4.1 dengan hasil pada gambar 4.81.



Gambar 4.80. Grafik Koefisien Debit (C_d) Dan H/P , $P = 15$ Cm



Gambar 4.81. Grafik Debit (Q) Dan H/P , $P = 15$ Cm

Dari gambar 4.80 dan gambar 4.81, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Koefisien debit pada ambang linear dan ambang multi *halfcircular* berpotongan pada satu titik (gambar 4.80). Pada ambang multi *halfcircular*, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin kecil.

Sebaliknya pada ambang linear, semakin tinggi nilai H/P maka nilai koefisien debit (C_d) semakin besar.

2. Debit pada model ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan debit pada ambang linear dengan syarat nilai $H/P \leq 0,7$. Nilai $H/P = 0,7$ maka debit yang melewati kedua ambang akan memiliki nilai yang sama. Selain itu pada batas H/P tersebut juga, tinggi air di hulu pada ambang Multi *Halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi air di hulu pada ambang linear.
3. Koefisien debit ambang multi *halfcircular* lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien debit ambang linear (gambar 4.80).

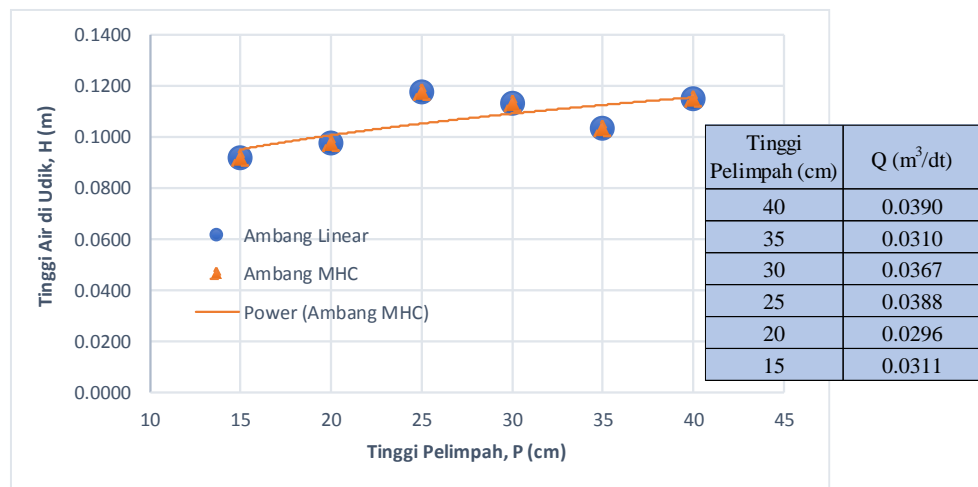
4.8. Rangkuman Penelitian

Hasil pembahasan pada bab dan sub bab sebelumnya, menghasilkan persamaan yang terbentuk dari data yang di plot dalam grafik. Dari persamaan tersebut kemudian pada sub bab ini dianalisa semua model seri (12 model). Analisa meliputi tinggi air di udik model penelitian, debit yang melewati model serta koefisien debit pada kedua model ambang yakni ambang linear dan ambang multi *halfcircular*. Dari semua hasil analisa diatas, kemudian dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Kalibrasi alat ukur debit dan alat ukur tinggi muka air di udik memperlihatkan tingkat keakuratan diatas 90%. Analisa dilakukan terhadap nilai kesalahan relatif dan analisa grafik.
2. Berdasarkan hasil dari sub bab 4.6.1 perbedaan tinggi air di udik untuk model ambang linear dan ambang multi *halfcircular*, maka dengan menggunakan persamaan dari grafik yang diperoleh dari pengamatan untuk semua model seri penelitian sebagai berikut:

A. Tinggi Muka Air di Udik Model Memiliki Nilai yang Sama

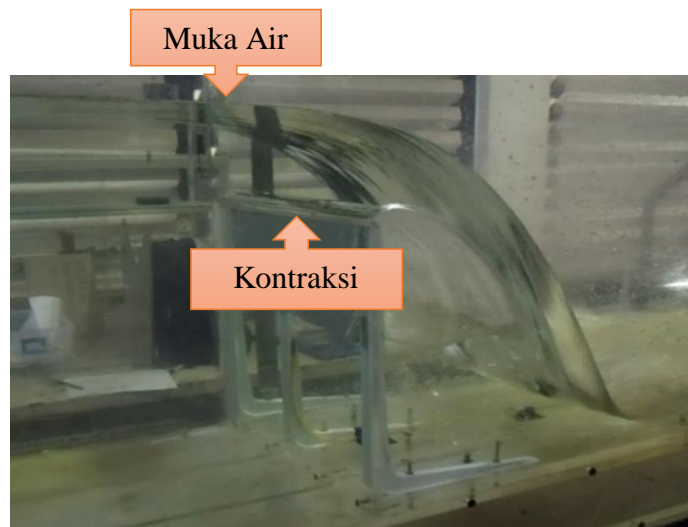
Dari persamaan 4.6 sampai dengan 4.17, diperoleh grafik tinggi air di udik memiliki nilai yang sama pada kisaran debit $0,029 \text{ m}^3/\text{dt}$ sampai $0,039 \text{ m}^3/\text{dt}$ pada masing-masing tinggi pelimpah. Gambar 4.82 mendeskripsikan bahwa semakin tinggi pelimpah, maka tinggi air udik akan semakin tinggi. Pada model ambang *halfcircular*, lebar ambang lebih besar sehingga kontraksi antara permukaan puncak ambang dan aliran lebih besar jika dibandingkan dengan model ambang linear (gambar 4.83 dan gambar 4.84). Debit aliran yang semakin besar, tinggi air di udik meningkat sehingga pengaruh kontraksi pada permukaan ambang terhadap permukaan air sangat kecil.



Gambar 4.82. Tinggi Air di Udik Model pada Tiap Tinggi Pelimpah



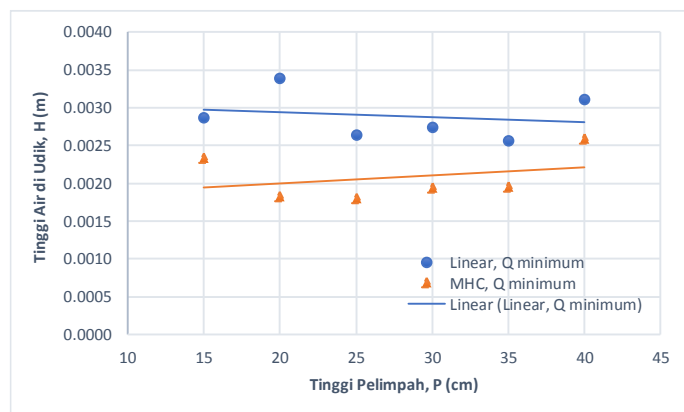
Gambar 4.83. Kontraksi di Sepanjang Lebar Puncak Ambang



Gambar 4.84. Kontraksi di Sepanjang Lebar Punck Ambang

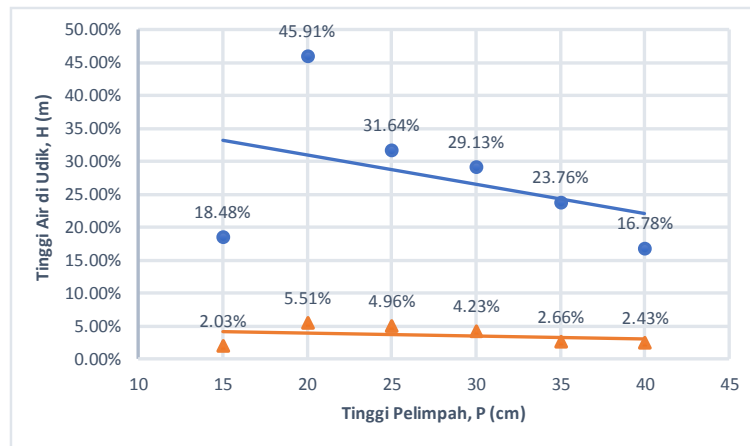
B. Tinggi Muka Air di Udik Terendah pada Model Penelitian

Dari persamaan 4.6 sampai dengan 4.17, diperoleh grafik tinggi air di udik terendah pada tiap-tiap tinggi pelimpah. Debit minimum pada kasus ini $0,0001 \text{ m}^3/\text{dt}$ ($0,1 \text{ liter}/\text{dt}$) menghasilkan tinggi muka air di udik yang berbeda-beda pada tiap tinggi pelimpah. Model ambang linear berdasarkan gambar 4.85 mendeskripsikan semakin tinggi pelimpah maka tinggi air udik semakin kecil, sebaliknya untuk model ambang multi *halfcircular* semakin tinggi pelimpah, tinggi air udik semakin besar.



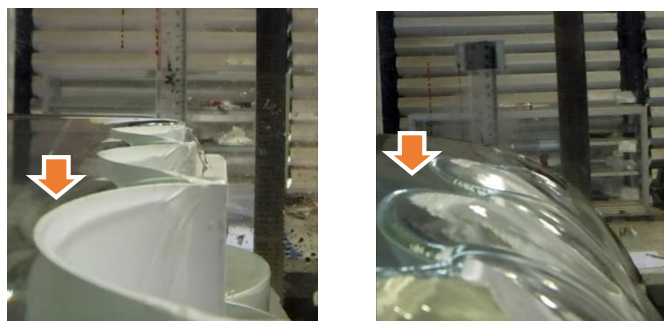
Gambar 4.85. Tinggi Air di Udik Model pada Tiap Tinggi Pelimpah

Jika dibuat selisih persentase tinggi air di udik model pelimpah ambang multi *halfcircular* terhadap tinggi air udik di model ambang linear, maka diperoleh grafik berikut ini:



Gambar 4.86. Selisih Tinggi Air di Udik

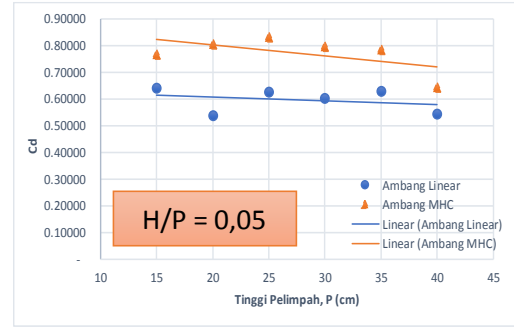
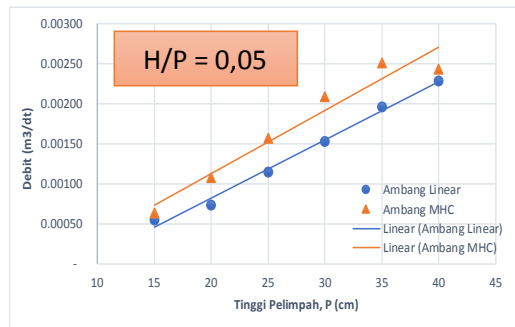
Dari gambar 4.86 dapat dijelaskan bahwa selisih tinggi air antara model ambang multi *halfcircular* terhadap model ambang linear terhadap debit kecil ($0,0001 \text{ m}^3/\text{dt}$) memiliki persentase selisih yang besar untuk tinggi pelimpah berkisar antara 20 – 35 cm. Namun ketika debit dinaikkan menjadi $0,0175 \text{ m}^3/\text{dt}$, selisih tinggi air di udik pada kedua pelimpah tidak terlalu besar perbedaannya dibandingkan debit $0,0001 \text{ m}^3/\text{dt}$. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk debit kecil, air yang melewati ambang multi *halfcircular* tersebar secara merata pada seluruh lebar ambang sehingga beda tinggi air pada kedua pelimpah besar. Apabila debit bertambah besar maka akan ada perubahan arah aliran air pada puncak ambang. Seperti tampak pada gambar berikut:



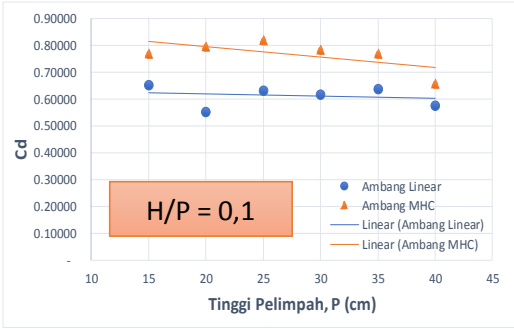
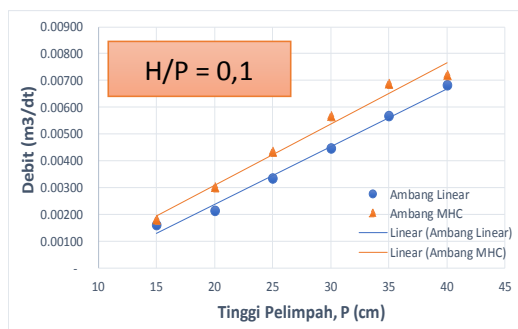
Gambar 4.87. Arah Aliran Pada Puncak Ambang, A. Debit Kecil ($0,001 \text{ m}^3/\text{dt}$), B. Debit Menengah ($0,0175 \text{ m}^3/\text{dt}$)

3. Berdasarkan hasil dari sub bab 4.6.2 perbedaan nilai koefisien untuk masing-masing model seri menghasilkan persamaan seperti tampak pada grafik sub bab

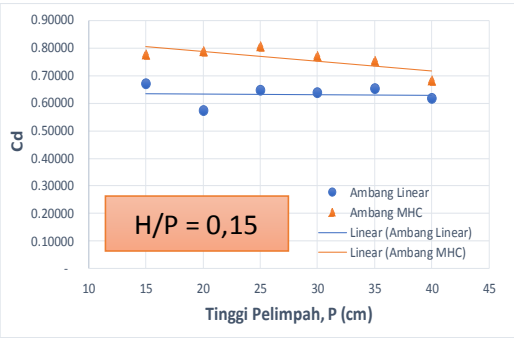
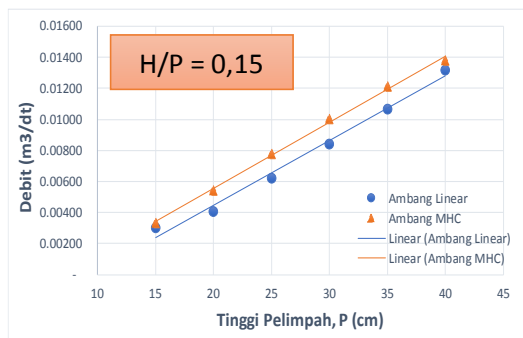
tersebut. Dari persamaan tersebut, kemudian dianalisa terhadap debit untuk masing-masing ketinggian pelimpah (gambar 4.88).



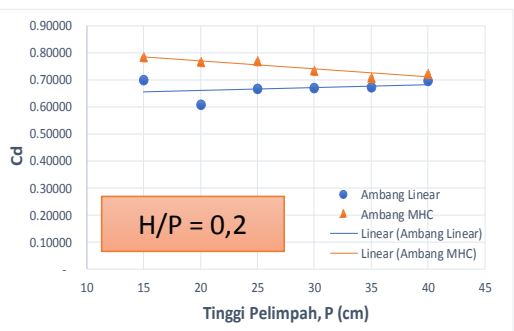
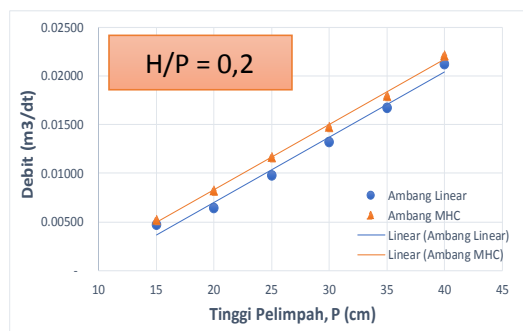
(A)



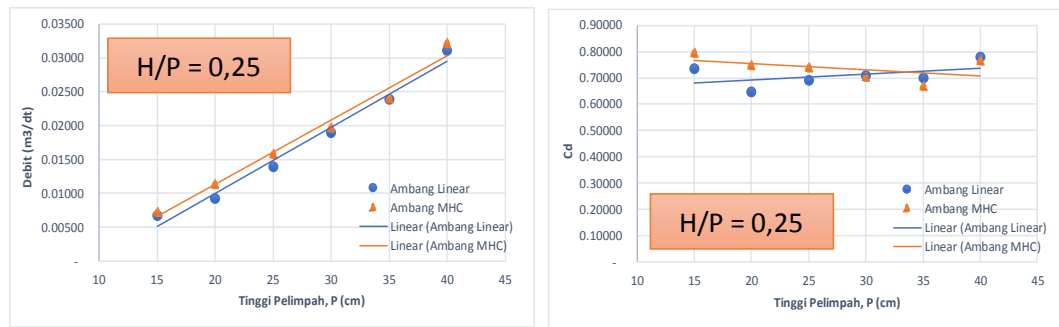
(B)



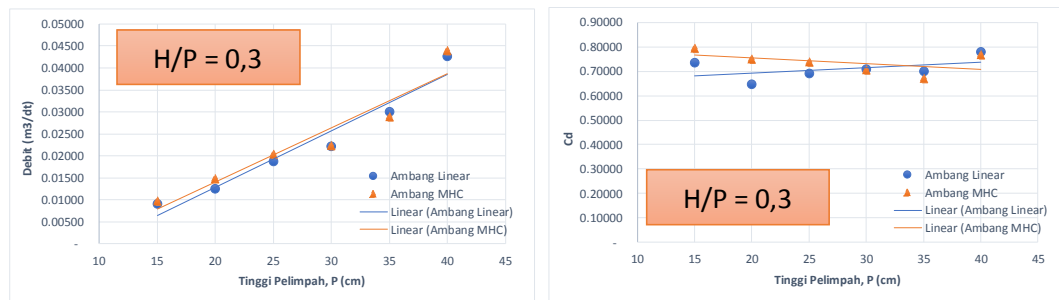
(C)



(D)



(E)



(F)

Gambar 4.88. Hubungan H/P terhadap Debit dan Koefisien Debit pada Tiap-Tiap Tinggi Pelimpah

Pada gambar 4.88 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Tinggi Pelimpah 40 cm kecenderungan mengalirkan debit yang lebih besar dibandingkan dengan tinggi pelimpah lainnya.
- Nilai $H/P = 0,05$, model ambang multi *halfcircular* dapat melewati debit lebih besar dibandingkan dengan model ambang linear. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan lebar ambang lebih besar, tinggi air di udik pelimpah ambang multi *halfcircular* lebih rendah, sehingga debit yang mengalir lebih besar.
- Nilai H/P yang semakin meningkat ($H/P = 0,3$), debit yang dialirkan pada model ambang multi *halfcircular* cenderung sama dengan debit yang melewati model ambang linear.
- Batasan nilai H/P agar dapat mengalirkan debit yang lebih besar pada ambang multi *halfcircular* berkisar antara $0 < H/P \leq 0,3$.

4.9. Kendala – Kendala Selama Penelitian

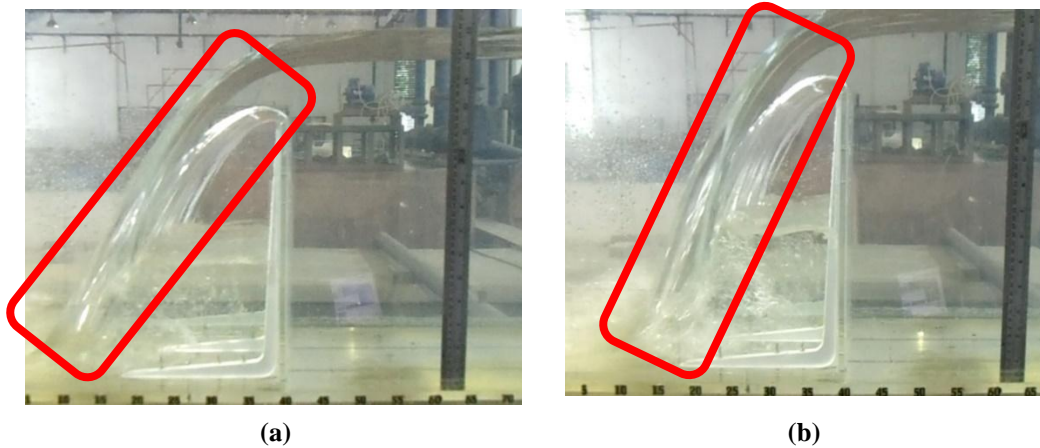
1. Pompa yang digunakan selama proses penelitian terdiri dari 2 jenis kapasitas, yakni pompa berkapasitas ± 7 liter/dt dan berkapasitas ± 30 liter/dt. Untuk pompa kapasitas 7 liter/dt, permukaan air relatif konstan jika dibandingkan dengan pompa berkapasitas 30 liter/dt. Hal ini bisa dilihat dari fluktuasi permukaan air dan tirai atas aliran pada saat melewati pelimpah ambang.



Gambar 4.89. Fluktuasi Permukaan Air dengan Pompa 30 Liter/dt



Gambar 4.90. Fluktuasi Permukaan Air dengan Pompa 7 Liter/dt



Gambar 4.91. Kondisi Perubahan Limpasan Air Melewati Pelimpah

2. Alat ukur kedalaman air menggunakan sensor (ULWR) membutuhkan waktu ± 10 menit untuk setiap kali bacaan pada 1 debit. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor diantaranya:

- Kondisi kabel yang tidak tersambung secara optimal, sehingga peneliti beberapa kali harus melakukan reset alat kembali.
- Getaran yang dihasilkan oleh pompa mengakibatkan lokasi sensor terganggu. Sehingga bacaan beberapa sensor seringkali tidak optimal.
- Fluktuasi permukaan air pada pompa kapasitas 30 liter/dt yang mengakibatkan bacaan harus diulang beberapa kali untuk mendapatkan nilai rata-rata tinggi muka air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan dari bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, tinggi muka air pada pelimpah ambang multi *halfcircular* lebih rendah dibandingkan dengan tinggi muka air pada ambang linear. Pada debit yang sama yakni 0,1 liter/dt, perbedaan tinggi muka air pada pelimpah ambang multi *halfcircular* terhadap ambang linear dari $P = 15$ cm sampai dengan $P = 40$ cm berturut-turut mencapai 18,48%, 45,91%, 31,64%, 29,13%, 23,76%, dan 16,78%. Ketika debit aliran meningkat, maka selisih tinggi muka air pada ambang multi *halfcircular* dan ambang linear tidak terlalu signifikan. Pada kisaran debit $0,0296 \text{ m}^3/\text{dt}$ sampai dengan $0,039 \text{ m}^3/\text{dt}$ tinggi muka air pada tiap-tiap pelimpah ($P = 15 - 40$ cm) memiliki nilai yang sama.
2. Grafik hubungan antara tinggi pelimpah (P) dan besarnya debit (Q) memperlihatkan bahwa pada nilai $H/P = 0,05$ maka debit pada tinggi pelimpah 40 cm dengan bentuk ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan dengan debit pada tinggi pelimpah lainnya ($P = 15$ cm sampai dengan 35 cm) dengan bentuk ambang linear dan multi *halfcircular*. Namun ketika nilai H/P meningkat menjadi $H/P = 0,3$ maka debit pada tinggi pelimpah ($P = 15$ cm sampai dengan 40 cm) menjadi sama.
3. Grafik hubungan antara tinggi pelimpah (P) dan koefisien debit (C_d) memperlihatkan bahwa nilai koefisien debit (C_d) pada ambang multi *halfcircular* lebih besar dibandingkan dengan koefisien debit (C_d) pada ambang linear. Batasan nilai koefisien debit (C_d) bergantung pada nilai H/P yakni antara $0 < H/P \leq 0,3$. Nilai $H/P = 0,3$ maka koefisien debit pada kedua ambang untuk tinggi pelimpah 35 cm dan 40 cm memiliki nilai yang sama. Sementara tinggi pelimpah 15 cm sampai dengan 30 cm, nilai koefisien

debit pelimpah ambang multi *halfcircular* masih lebih tinggi dibandingkan dengan pelimpah ambang linear.

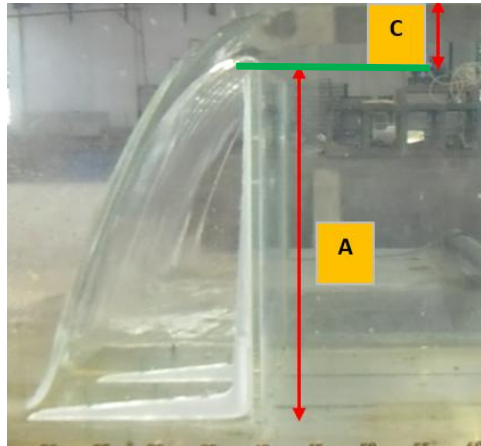
5.2 Saran

1. Analisa debit yang melewati model pelimpah terbatas pada kapasitas pompa yang tersedia, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membuktikan kebenaran analisa pada debit maksimum ($Q > 30$ liter/dt)
2. Kondisi sensor ULWR yang sudah lama, perlu dilakukan pemeliharaan kembali agar pembacaan lebih akurat dan teliti.
3. Fluktuasi air yang begitu besar mengakibatkan kesulitan dalam pembacaan tinggi muka air, sehingga untuk penelitian lebih lanjut perlu disediakan saluran flume yang lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini. 1997. Hidrolika Saluran Terbuka. Surabaya: Srikandi
- Anderson, M ricky. 2011. “Piano Key Weir Head Discharge Relationships”. Thesis Master Of Science. Utah State University : Logan
- B.M.Crookston, A.M.ASCE and B.P.Tullis M.ASCE. 2012. “Arced Labyrinth Weirs” 138 (6) : 555-562
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. Pengukuran Debit pada Saluran Terbuka Menggunakan Bangunan Ukur Tipe Pelimpah Atas. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Dermawan, V. 2011. Uji Model Fisik Hidraulik Perilaku Aliran dan Peredaman Energi pada Bangunan Pelimpah Bertangga. Disertasi, ITS, Surabaya
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. Standar Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Irigasi KP-02. Jakarta.
- Munson R. Bruce, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, and Alric P. Rothmayer. 2013. Fundamentals of Fluid Mechanics Seventh Edition. Iowa : Iowa State University Ames
- Sumirman, E. 2013. Studi Perbandingan Aliran Alat Ukur Debit Ambang Tipis Penampang Segi Tiga dengan Gabungan Penampang Segi Tiga dan Segi Empat. Tesis, ITS, Surabaya

Lampiran A.1 Contoh Perhitungan Koefisien Debit Ambang Linear



Diketahui dimensi pelimpah ambang linear adalah:

Tinggi pelimpah ambang (A) = 40 cm = 0,4 m

Tinggi air diatas (C) = 0,097 m

Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²

Lebar pelimpah ambang (B) = 0,455 m

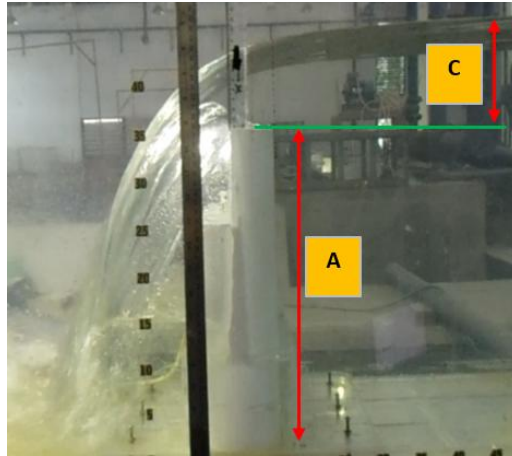
Debit terukur (alat ukur ambang tipis) = 0,02887 m³/s

Sehingga nilai koefisien debit dengan menggunakan persamaan diatas menjadi,

$$C_d = \frac{3 \cdot 0,02887}{2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,455 \cdot 0,097^2}} = 0,7115$$

Persamaan diatas berlaku untuk nilai Cd pada semua tinggi pelimpah ambang yang diteliti.

Lampiran A.2 Contoh Perhitungan Koefisien Debit Ambang Multi Halfcircular



Diketahui dimensi pelimpah ambang linear adalah:

Tinggi pelimpah ambang (A) = 40 cm = 0,4 m

Tinggi air diatas (C) = 0,097 m

Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²

Lebar pelimpah ambang (B) = 0,455 m

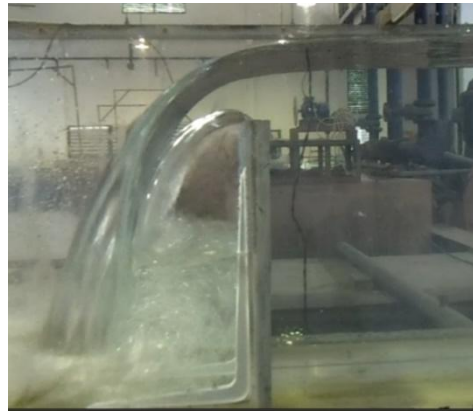
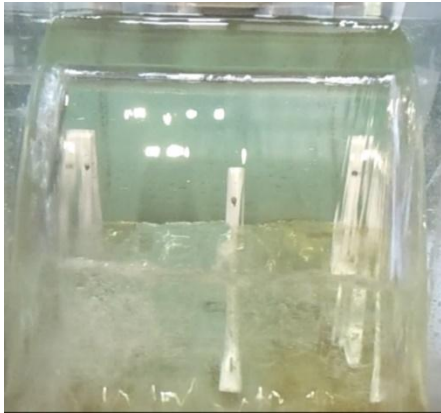
Debit terukur (alat ukur ambang tipis) = 0,02970 m³/s

Sehingga nilai koefisien debit dengan menggunakan persamaan diatas menjadi,

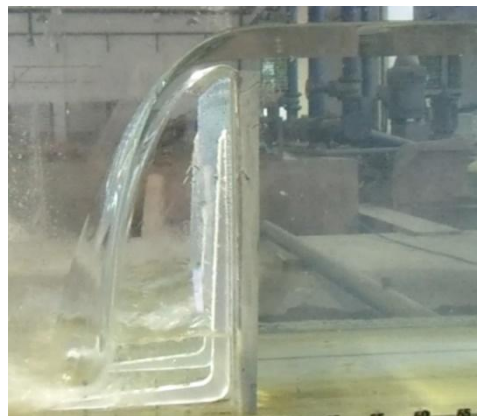
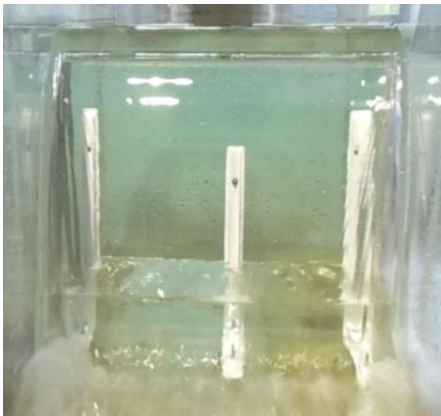
$$C_d = \frac{3 \cdot 0,02970}{2\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,455 \cdot 0,097^2}} = 0,7317$$

Persamaan diatas berlaku untuk nilai Cd pada semua tinggi pelimpah ambang yang diteliti.

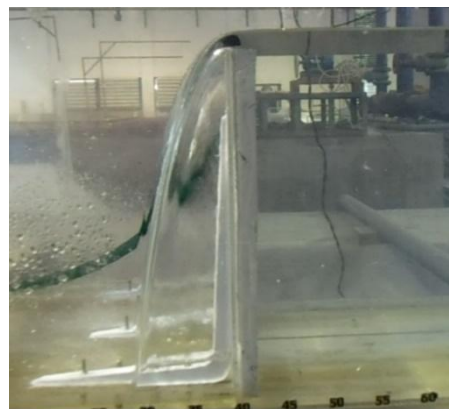
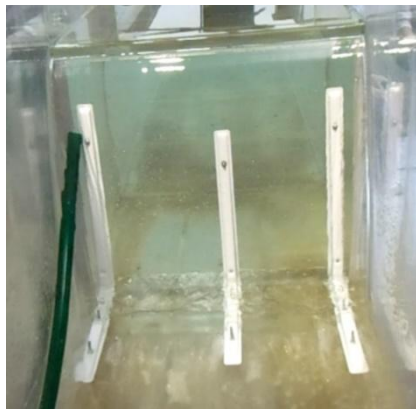
Lampiran B.1 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 40 cm



Debit $Q = 0,0297 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,097 m

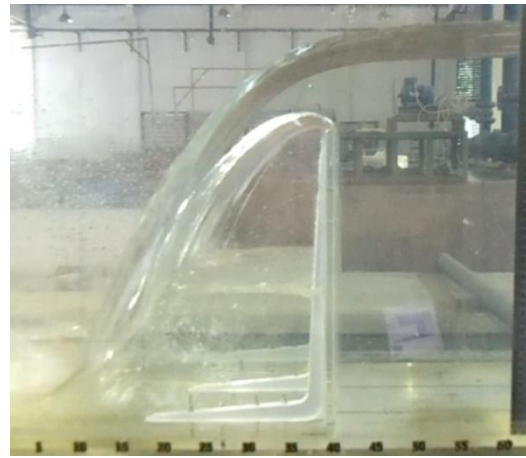
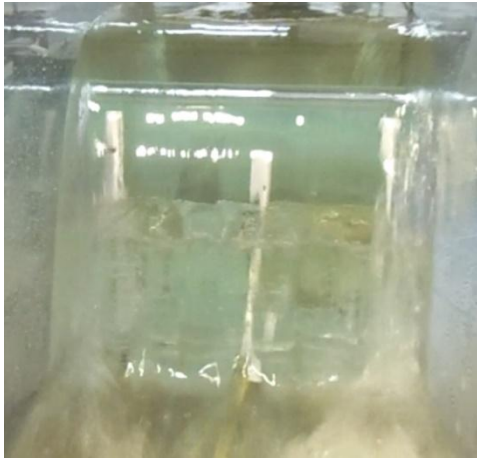


Debit $Q = 0,0086 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,046 m

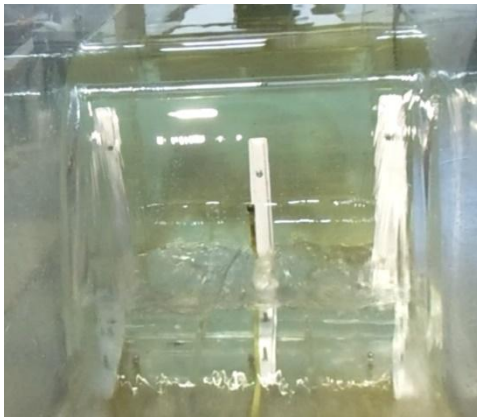


Debit $Q = 0,0013 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,014 m

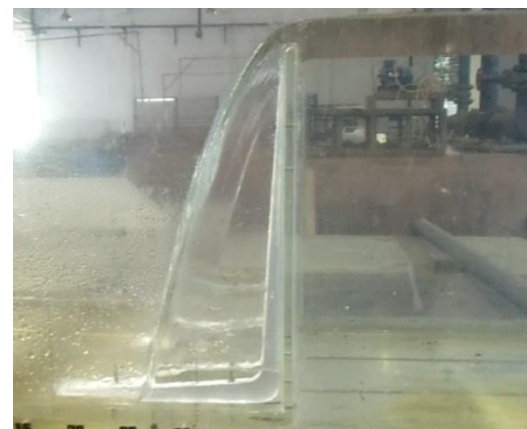
Lampiran B.2 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 35 cm



Debit $Q = 0,0306 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,101 m

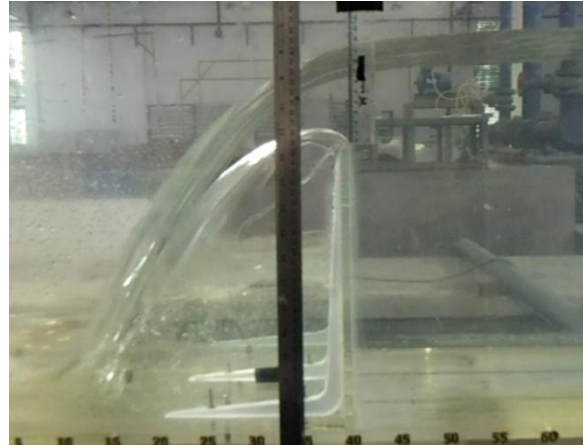
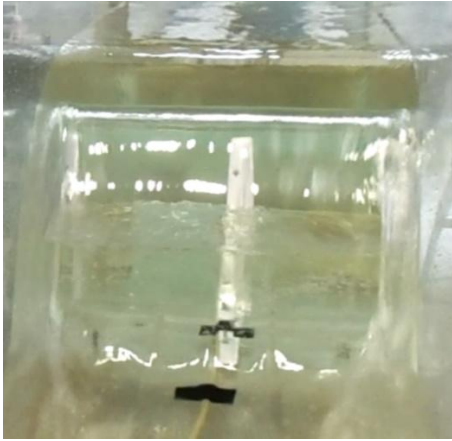


Debit $Q = 0,0092 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,048 m

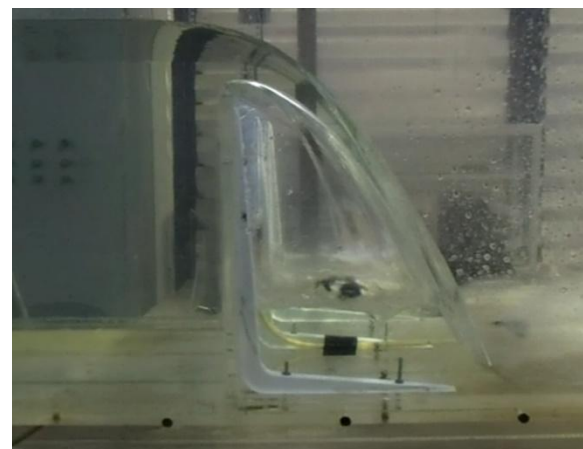
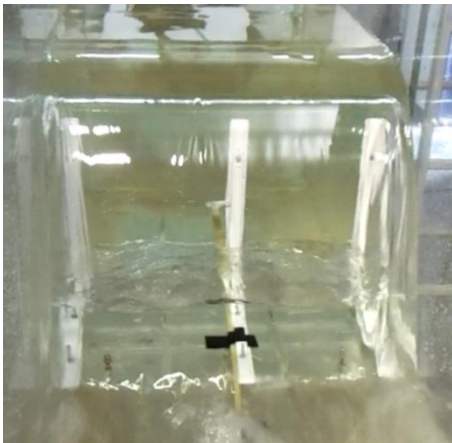


Debit $Q = 0,0024 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0193 m

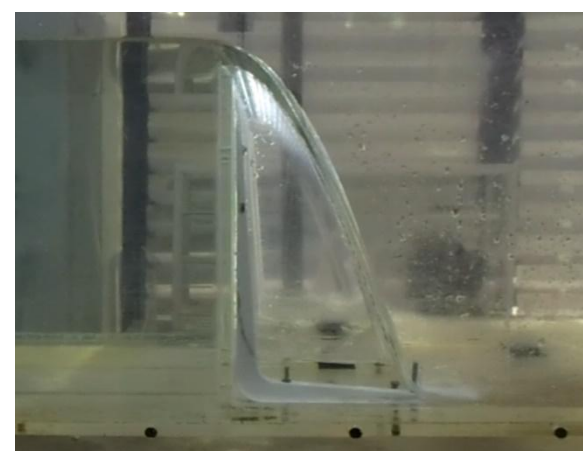
Lampiran B.3 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 30 cm



Debit $Q = 0,0299 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,1017 m

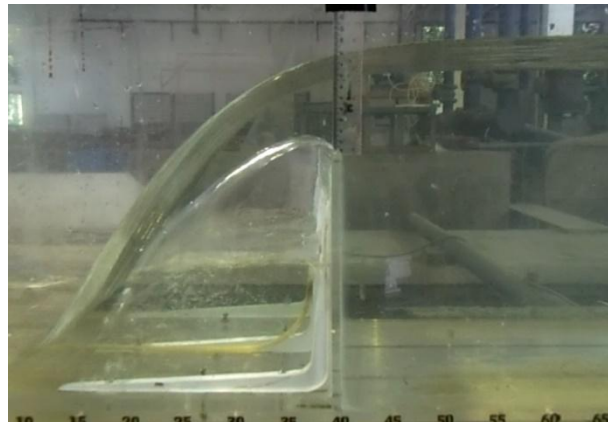
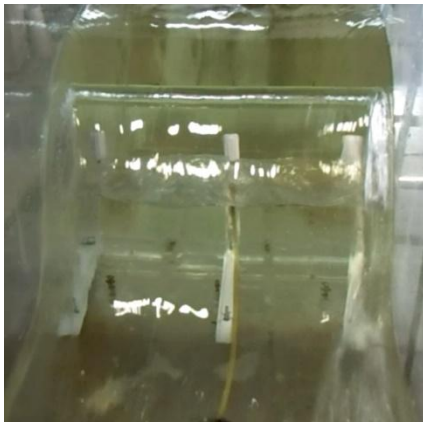


Debit $Q = 0,0072 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0404 m

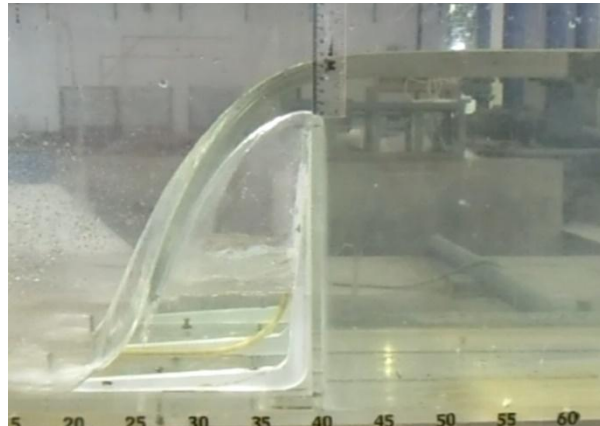
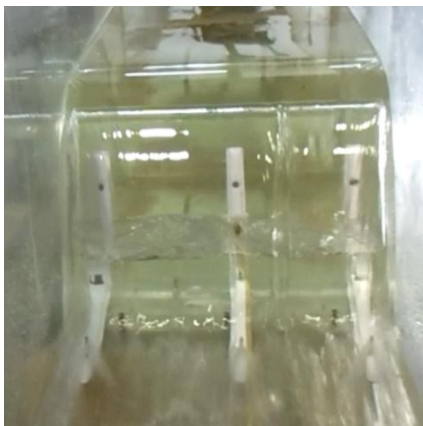


Debit $Q = 0,0024 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0210 m

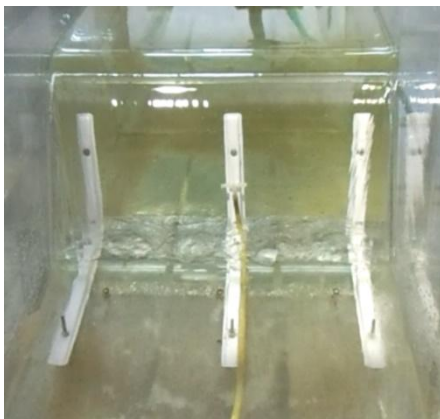
Lampiran B.4 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 25 cm



Debit $Q = 0,0293 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,1012 m

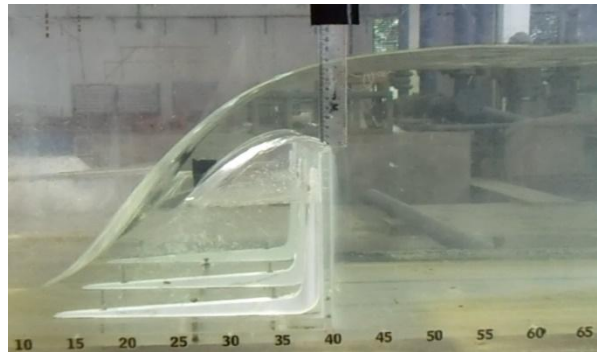
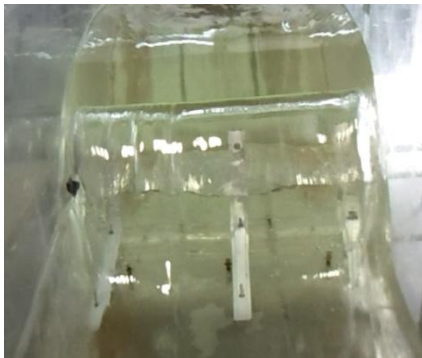


Debit $Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0409m

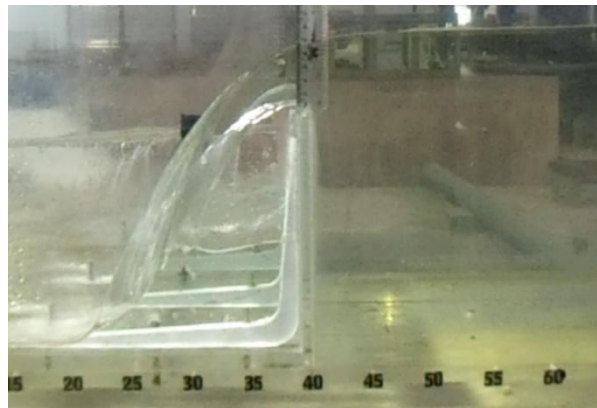
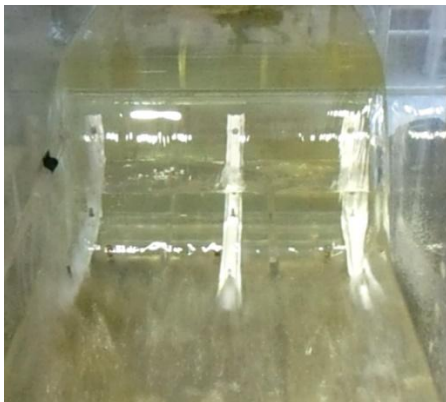


Debit $Q = 0,0046 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0314m

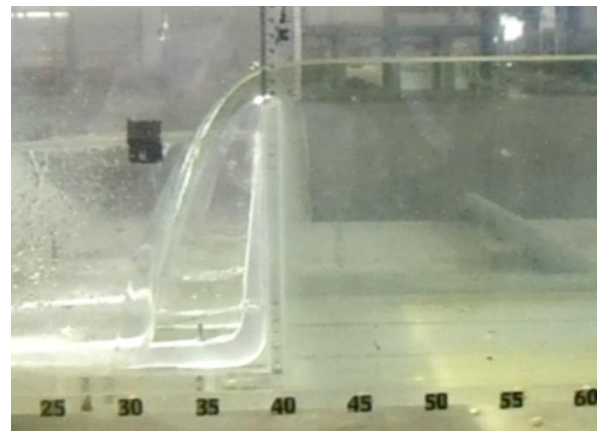
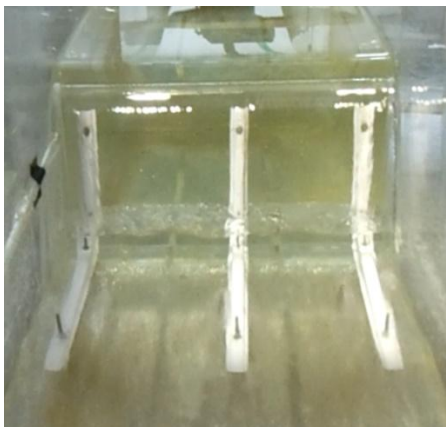
Lampiran B.5 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 20 cm



Debit $Q = 0,0293 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,1013 m

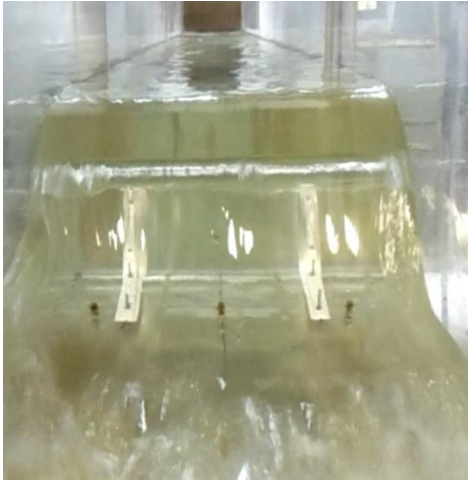


Debit $Q = 0,0077 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0443 m

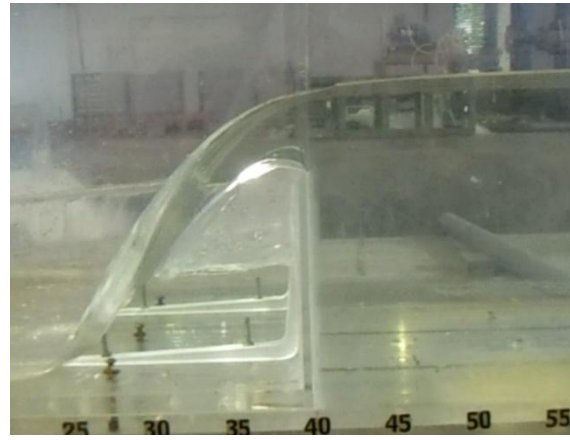
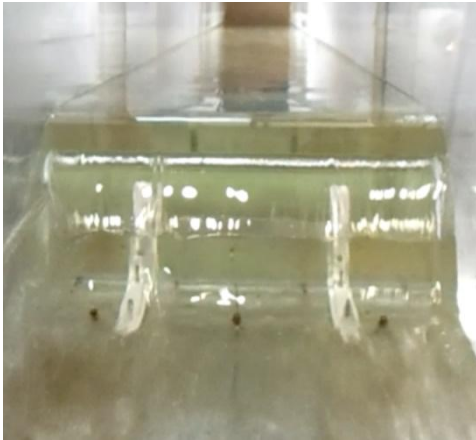


Debit $Q = 0,0049 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0343 m

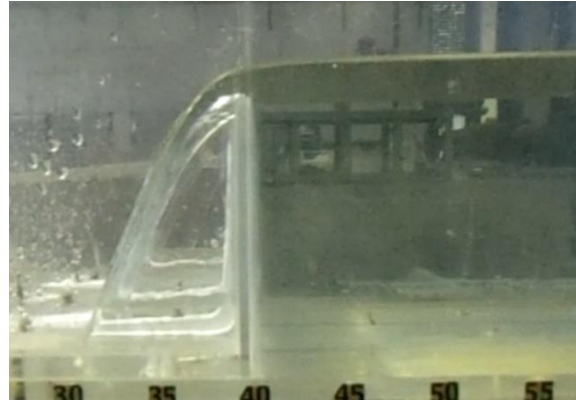
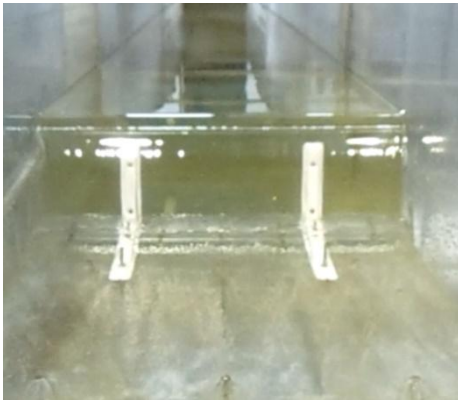
Lampiran B.6 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Linear Tinggi 15



Debit $Q = 0,0273 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0897 m



Debit $Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0410 m



Debit $Q = 0,0033 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0237 m

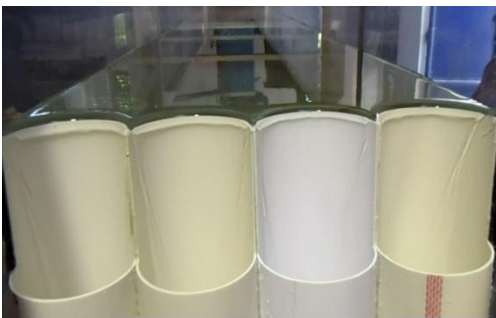
Lampiran B.7 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 40 cm



Debit $Q = 0,028 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,095 m



Debit $Q = 0,007 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,041 m



Debit $Q = 0,002 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,015 m

Lampiran B.8 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 35 cm



Debit $Q = 0,029 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,105 m

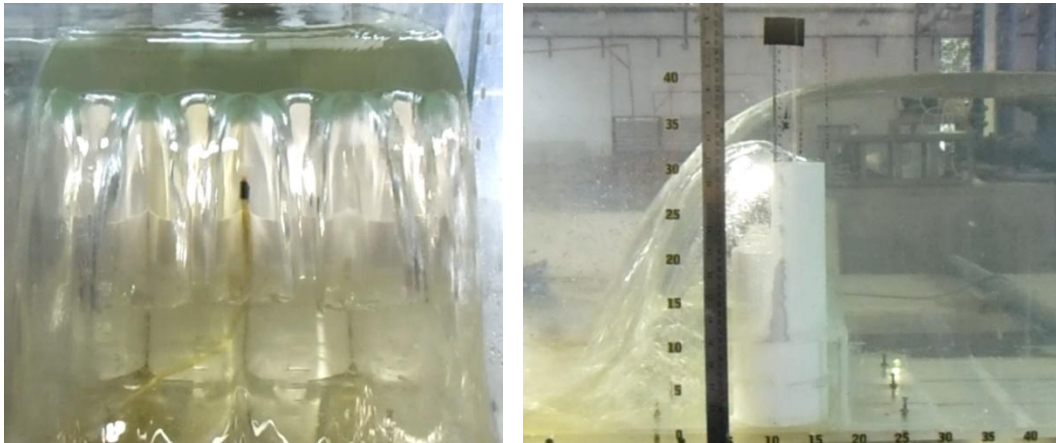


Debit $Q = 0,007 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,036 m



Debit $Q = 0,005 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,027 m

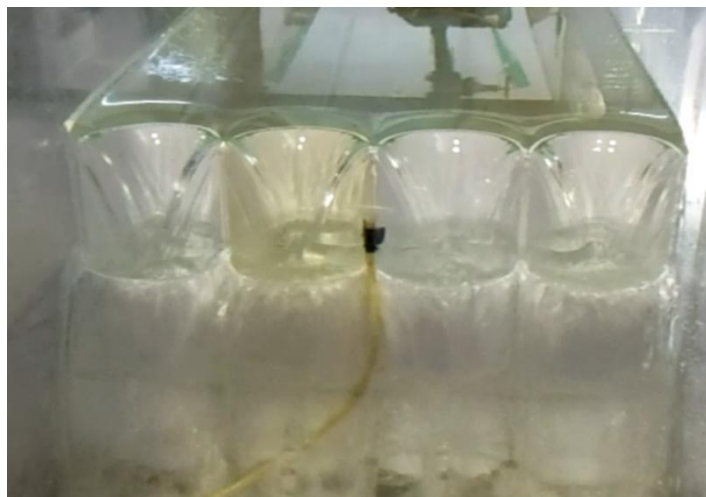
Lampiran B.9 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 30 cm



Debit $Q = 0,0297 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0965 m

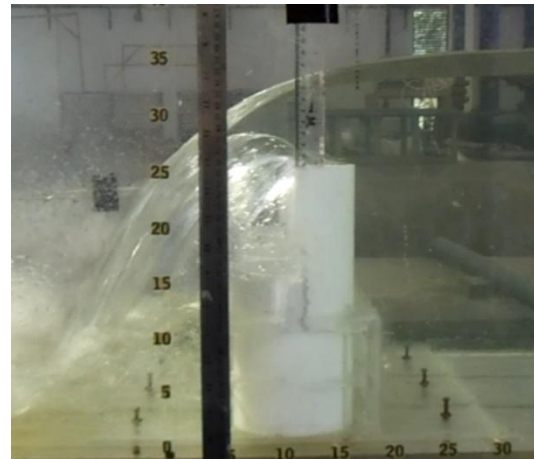


Debit $Q = 0,0072 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0357 m



Debit $Q = 0,0067 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0353 m

Lampiran B.10 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 25 cm



Debit $Q = 0,0285 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,097 m

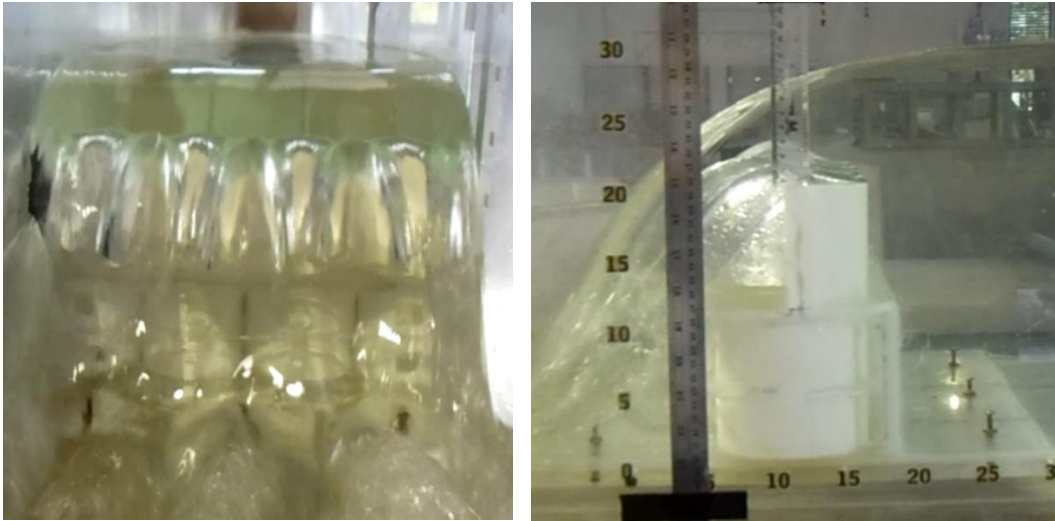


Debit $Q = 0,0089 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0427 m

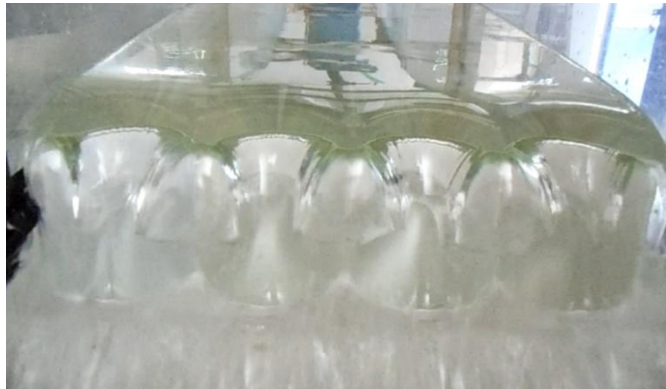


Debit $Q = 0,0047 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0283 m

Lampiran B.11 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 20 cm



Debit $Q = 0,0287 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,097 m

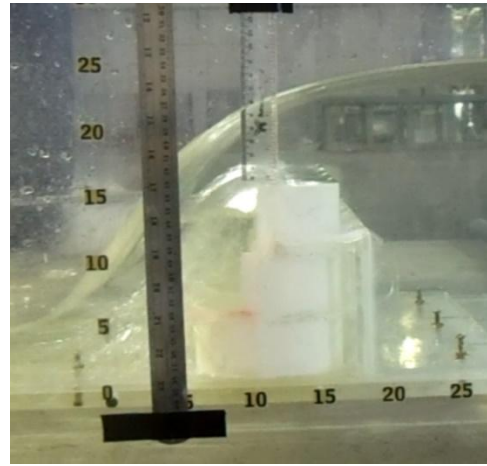
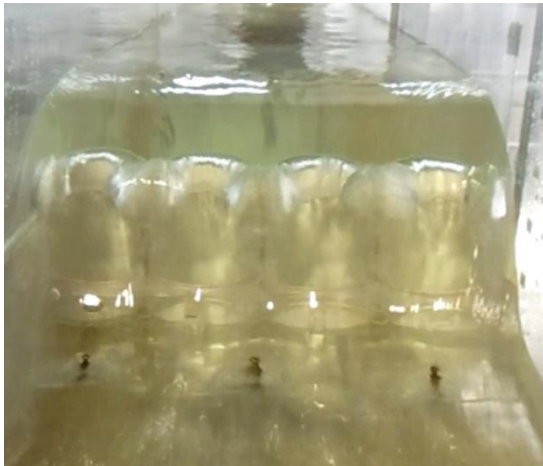


Debit $Q = 0,0064 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0333 m

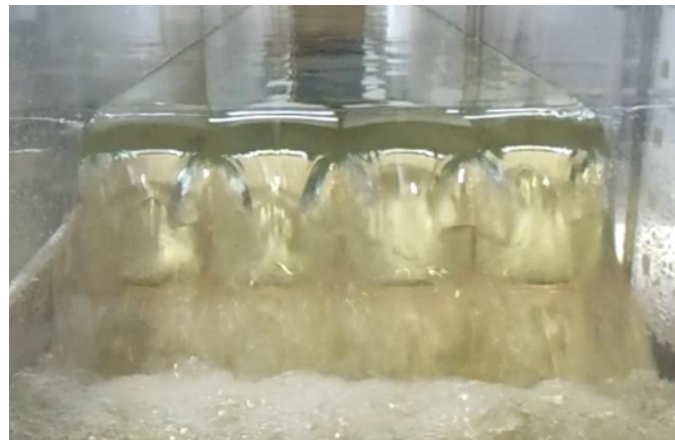


Debit $Q = 0,0056 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0313 m

Lampiran B.12 Foto Dokumentasi Pelimpah Ambang Multi Halfcircular, Tinggi 15 cm



Debit $Q = 0,0294 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0909 m



Debit $Q = 0,0078 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0350 m



Debit $Q = 0,0038 \text{ m}^3/\text{dt}$, H muka air = 0,0240 m



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK SIPIL
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 6011
Telp : 031-5928797, 5947284, 594609
Fax : 031-592950
e-mail : pasca@ce.its.ac.id

FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : _____
NRP. : _____
JUDUL THESIS / : _____
DISERTASI : _____

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
1	<ul style="list-style-type: none">- Grapha masalah untuk Seminar Nasional.- Buat Graph Q Vs C untuk ambly tipe dan circular.- Cek debit tipe at ambly tipe $h = 40$ cm.	
2	<ul style="list-style-type: none">- Pelajari penentuan koefisien debit pada Labyrinth weir.- Buat grafik cd Vs H/p untuk linear dan circular	
3	<ul style="list-style-type: none">- Cek L/w pada circular.- Kalibrasi debit bisa juga dengan grafik (cek dan pelajari).	

Pembimbing II

Surabaya,

Pembimbing I



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK SIPIL
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 6011
Telp : 031-5928797, 5947284, 594605
Fax : 031-592950
e-mail : pasca@ce.its.ac.id

FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : _____
NRP. : _____
JUDUL THESIS / : _____
DISERTASI : _____

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
4	<ul style="list-style-type: none"> - Hitung selisih perbedaan tinggi air pada linear dan Halfcircular. - perbedaan debit pada kedua model dan persamaan plot grafik 	
5	<ul style="list-style-type: none"> - Buatlah batasan -batasan pada model Halfcircular (H/P) - Cek perbedaan de tinggi air pada P P = 15 cm 	
6	<ul style="list-style-type: none"> - Cek kembali $H/P \geq 0,3$, Debit Halfcircular \geq Debit Linear.? - Dalam laporan, untuk : <ul style="list-style-type: none"> 1. H untuk Halfcircular = H untuk linear 2. Q Halfcircular = Q linear <p>di pindah ke bagian depan dan Analisa.</p>	

Pembimbing II

Surabaya,

Pembimbing I



FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : _____
NRP. : _____
JUDUL THESIS / : _____
DISERTASI : _____

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
1.	<ul style="list-style-type: none">✓ Periksa kembali koefisien debit alat ukur - ambang tipis laboratorium✓ Cek kembali, apakah C_d hasil teori bisa-diinterpretasi atau tidak.	
2.	<ul style="list-style-type: none">✓ Lanjutkan analisa untuk $P = 25 - P = 15$,✓ Periksa kembali grafik Q vs H, berikan-batasan untuk $Q = \dots$? $H_{\text{half circular}} = H_{\text{linear}}$✓ Setelah Periksa C_d hasil pengamatan dengan C_d teori (ambang linear).	
3.	<ul style="list-style-type: none">✓ Tabel dan gambar harus ada narasinya✓ Pada Bab 4, sebaiknya ditambahkan - rangkuman dan kendala yang dihadapi✓ Bab 3 hanya tahapan penelitian, tidak-dimasukkan rumus - rumus.	

Pembimbing II

Surabaya,

Pembimbing I

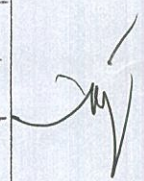


ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK SIPIL
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 6011
Telp : 031-5928797, 5947284, 594606
Fax : 031-592950
e-mail : pasca@ce.its.ac.id

FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI

NAMA MAHASISWA : _____
NRP. : _____
JUDUL THESIS / : _____
DISERTASI : _____

NO.	KEGIATAN	PARAF DOSEN
4.	<ul style="list-style-type: none">✓ Cek kembali Bab 1, 2, 3 disesuaikan dengan hasil dan analisa✓ Kalau dalam bab 3 disebutkan jumlah model seri yang diteliti, maka pada Bab 4 semua model seri harus dijelaskan.✓ Cek kesesuaian ambang tipis di laboratorium dengan teori.	

Pembimbing II

Surabaya,

Pembimbing I

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Manado tanggal 3 Mei 1989, dengan nama lengkap Hendra Putra Sudradjat. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis yaitu TK Bustanul, SDN No. 53 Kota Gorontalo, SMP Negeri 1 Gorontalo, MAN Insan Cendekia Gorontalo. Setelah lulus dari MAN Insan Cendekia Gorontalo, penulis melanjutkan Pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya pada tahun 2007.

Selama berkuliah S1 di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis senang dengan bangunan konstruksi. Kemudian pada saat skripsi, penulis berkonsentrasi pada bidang struktur. Penulis sempat aktif pada organisasi Badan Eksekutif Lembaga Mahasiswa FTSP dan kepanitiaan di lingkup jurusan, fakultas, maupun institut. Setelah lulus sarjana, penulis berkarir di bidang konstruksi tepatnya di konsultan pada tahun 2011, kemudian pada tahun 2012 sampai dengan 2016 penulis bergabung dengan Balai Wilayah Sungai Sulawesi II. Pengalaman menarik ketika penulis bekerja di bidang hidraulik selama 5 tahun. Kemudian penulis melanjutkan studi Pascasarjana bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Air di jurusan Teknik Sipil ITS.

Di program Pascasarjana ini penulis mengambil judul tesis tentang dengan judul “Kajian Tinggi Air Di Hulu Bendung Dan Penentuan Koefisien Debit Pada Pelimpah Ambang Dengan Bentuk Alinyemen Puncak Linear Dan Multi Halfcircular Dengan Model Fisik”. Selama masa perkuliahan penulis aktif di beberapa pelatihan dan seminar yang diselenggarakan Jurusan Teknik Sipil dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat dihubungi melalui email ip551sudradjat@gmail.com.